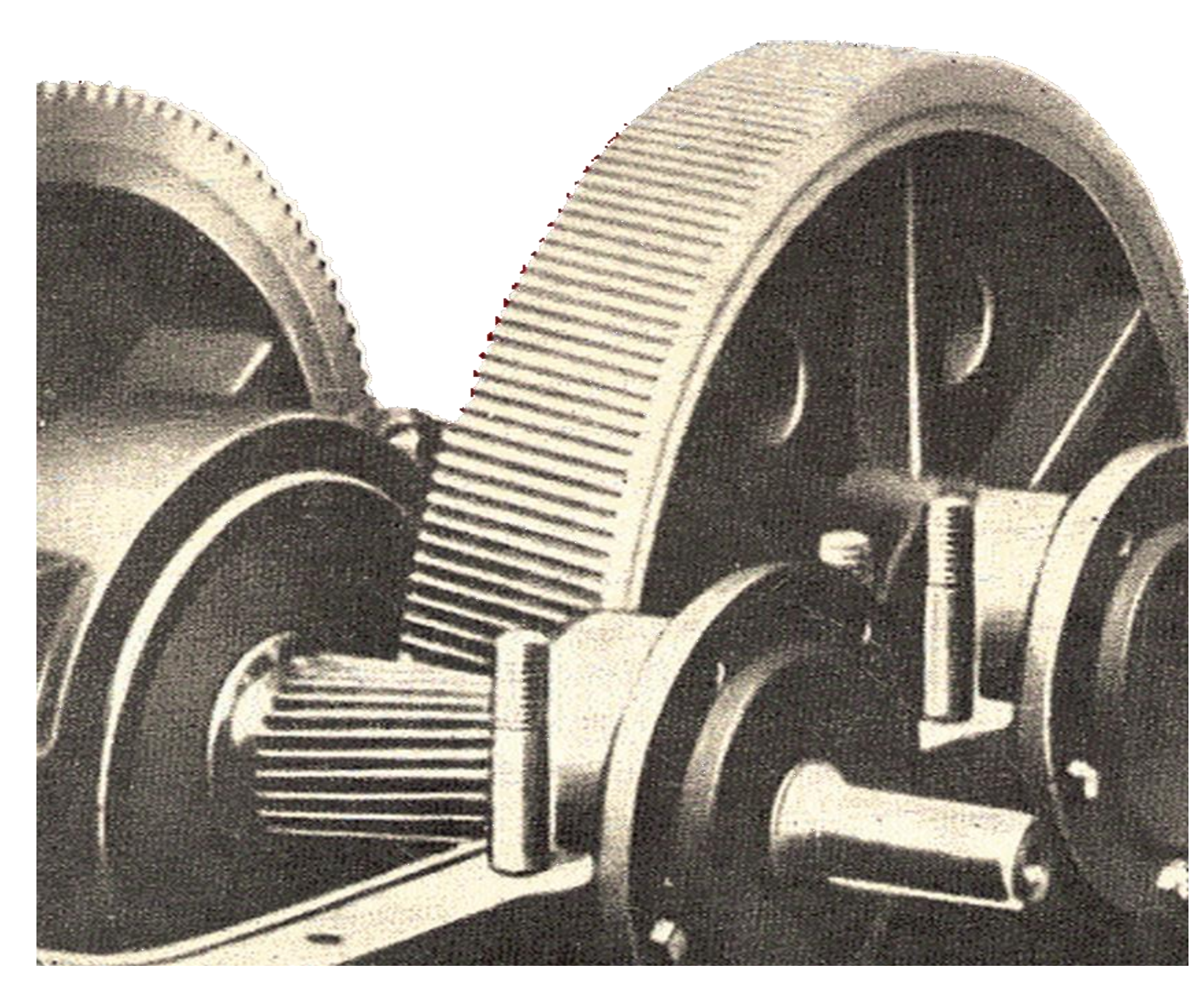
أجزاء الماكينات

ف. دوبروفولسكي
ك. زابلونسكي
س. ماك
أ. رادتشيك
ل. إرليخ



دار مير للطباعة والنشر
موسكو. الاتحاد السوفيتي
١٩٦٨

ف. دوبروفولسكي وآخرون

أجزاء الماكينات

دار «مير» للطباعة والنشر

на арабском языке

مقدمة

تقسم الماكينات تبعا لتصميمها واحجامها الى عدد ما من الوصلات (الوحدات المجمعة) والاجزاء.

الجزء هو منتج مصنوع من مادة متجانسة من حيث التسمية والمواصفات وبدون استخدام عمليات تجميع.

الوحدة المجمعة (الوصلة) هى منتج تخضع اجزاؤه للتوصيل فيما بينهما فى المؤسسة المنتجة ، وذلك بعمليات تجميع.

وفيما يلى سوف نطلق تسمية اجزاء الماكينات للاختصار على كل من الاجزاء ، وعناصر توصيلها وكذلك الوحدات المجمعة التى تقوم فى الماكينة بأبسط الوظائف .

وتقسم اجزاء الماكينات الى اجزاء عامة واخرى خاصة.

وتدخل فى عداد اجزاء الماكينات العامة، عناصر الوصلات الثابتة والوصلات القابلة للفك ؛ واجزاء نقل الحركة بالاحتكاك وبالتعشيق والاعمدة، والمحاور، والقارنات، وكراسى المحاور (كراسى التحميل) والزنبركات، واجزاء أجسام الماكينات. وحيث ان اجزاء الماكينات تعتبر من مكونات مختلف انواع الماكينات ،فان هذه الاجزاء اذا اشتركت فى النوع تشترك فى الوظيفة ايضا ، ويسمح ذلك بتخصيص علم قائم بذاته ـ اجزاء الماكينات ـ لدراستها .

وتدخل فى عداد اجزاء الماكينات ذات الاغراض الخاصة، تلك الاجزاء التى توجد فقط فى انواع بعينها من الماكينات . ومن ضمنها على سبيل المثال تلك الاجزاء مثل الكباس، والصمام، واعمدة الدوران وغير ذلك. ويدرس تصميم تلك الاجزاء فى علوم خاصة مناسبة ـ "ماكينات الرفع والنقل" و "ماكينات قطع المعادن" ، و "الماكينات الزراعية" . . الخ .

وتنحصر مهمة منهج "اجزاء الماكينات" ،كعلم دراسى ،فى توضيع طرائق وقواعد وقوانين تصميم الاجزاء انطلاقا من الظروف المعطاة لعملها فى الماكينة، تلك الظروف التى تضمن للاجزاء اتخاذ اكثر الاشكال نفعا، وانسب المقاييس، واختيار المواد الضرورية، ودرجة دقة تصنيعها ، ونوعية تشغيل سطوحها ، وتحديد الشروط الفنية لاعدادها .

ويتصل علم اجزاء الماكينات اتصالا وثيقا بكل من العلوم التالية :

أ ـ علم الميكانيكا النظرية، وعلم نظرية الماكينات اللذان يسمحان بتحديد القوى المؤثرة على الجزء ، وقوانين حركة الاجزاء ؛

ب ـ علم مقاومة المواد ، الذى يسمح بحساب اجزاء الماكينات بالنسبة للمتانة والجساءة والاستقرار ؛
جـ ـ علم المعادن الذى تعطى فيه المعلومات اللازمة لاختيار مادة الاجزاء بصورة صحيحة ؛
د ـ تكنولوجيا الانتاج : السباكة، والحدادة واللحام، وكذلك تكنولوجيا المعاملة الحرارية والميكانيكية وأعمال التجميع التى تفرض متطلبات تكنولوجية على تصميم اجزاء الماكينات ؛
هـ ـ الرسم الهندسى .

ومنهج علم "اجزاء الماكينات" فى معاهد الهندسة الميكانيكية (بناء الماكينات) يختتم حلقة من العلوم الهندسية العامة ويربط تلك العلوم بمواضيع التخصص التى تشمل اسس نظرية ، وتصميم وبناء وتشغيل الماكينات المخصصة لاغراض معينة.

ان التطور العام لبناء اجزاء الماكينات مرتبط ارتباطا وثيقا بتطور بناء الماكينات ككل . ويعتبر مستوى انتاج الماكينات واتقانها الفنى ، دليلا ساطعا على التطور الصناعى فى البلاد . ويتطور بناء الماكينات باستمرار وفقا لمتطلبات التشغيل والانتاج وللامكانيات التى تتكشف مع تطور العلم وظهور مواد ووسائل جديدة تضفى على تلك الماكينات الشكل اللازم وتمنحها الخواص المطلوبة .

المتطلبات الاساسية للتشغيل والانتاج ، التى تحدد بناء الماكينات الحديثة: امكانية الحصول على انتاجية عالية من ماكينات التشغيل والقدرة العالية لمحركاتها مع اقتصاديتها ؛ سهولة خدمة الماكينات التى لا تحتاج من العامل جهدا كبيرا فى تركيز الاهتمام أو اجهاد الذاكرة ، وقوة عضلية كبيرة ؛ الكفاءة العالية ؛ العمل المتواصل للماكينات لفترة طويلة؛ امكانية انتاج الكمية اللازمة من الماكينات ببذل ادنى مقدار من العمل واستهلاك اقل ما يمكن من المواد والموارد الاخرى.

ان رفع انتاجية ماكينات التشغيل وقدرات المحركات يتم الوصول اليه بفعالية اكبر عن طريق زيادة السرعات واتمتة عمليات التشغيل .

ويصف الجدول التالى التغير فى سرعات حركة السيارات خلال ٦٠ ـ ٧٠ سنة الاخيرة :

السنوات	السرعة القصوى (كم/ساعة) التى تم الوصول اليها	السرعة القصوى (كم/ساعة) فى الاستخدام	السنوات	السرعة القصوى (كم/ساعة) التى تم الوصول اليها	السرعة القصوى (كم/ساعة) فى الاستخدام
١٨٩٥ - ١٩٠٠	١٠٥ر٩	١٥ - ٢٠	١٩٣٠ - ١٩٤٥	٥٩٤ر٨	٩٠ - ١١٠
١٩٠٠ - ١٩١٥	٢١٠ر٩	٣٠ - ٤٠	١٩٤٥ - ١٩٥٥	٦٣٤ر٦	١٣٠ - ١٥٠
١٩١٥ - ١٩٣٠	٣٧٢ر٤	٥٥ - ٧٥	١٩٧٠	١٠٠٠	١٥٠

سرعة القطع عند تشغيل الصلب بماكينات التشغيل

السنوات	قبل عام ١٨٥٠	١٨٦٤	بداية القرن العشرين	١٩٢٧	١٩٧٠
مادة العدة القاطعة	صلب كربونى	صلب كروم- ولفرام	الصلب السريع القطع	السبائك الكربيدية	السبائك الكربيدية
سرعة القطع (متر/دقيقة)	٥	٧ - ٨	٣٠	٧٠ - ٨٠	٤٠٠ فأعلى

زيادة سرعة الدلفنة على البارد للصلب الرقائقى خلال الفترة من ١٩٢٥ حتى ١٩٥٠

السنوات	١٩٢٥-١٩٣٠	١٩٤٠	١٩٤٥	١٩٥٠
سرعة الدلفنة (متر/الثانية)	٣ر٠ — ٥ر٠	٥	٢٠	٣٠

ويمكن ان تلاحظ نموا مماثلا للسرعات فى الماكينات الاخرى ايضا. فمثلا، زادت سرعة ماكينات انتاج الورق المقوى المعرج من ٣ امتار/دقيقة فى عام ١٨٩٥ الى ١٦٥ مترا/دقيقة فى الوقت الحاضر؛ وزادت سرعات ماكينات الخياطة من ٦٠٠ - ٨٠٠ لفة/دقيقة فى عام ١٩١٥، الى ٣٥٠٠ لفة/دقيقة فى عام ١٩٤٧ .. الخ.

وتعطى هذه الارقام صورة لمعدلات نمو سرعات مختلف الماكينات، وكذلك عن مستقبلها القريب.

ان الاتجاهات العامة المشار اليها قد حددت الخصائص الاهم لتطور بناء الماكينات لمختلف الاغراض: استبدال ميكانيزمات (آليات) الحركة الترددية بميكانيزمات الحركة الدورانية المنتظمة، استخدام وحدات (تصاميم) مجمعة، استخدام وسائل نقل الحركة غير الميكانيكية وتقليل الوزن النوعى للماكينات.

والحركات الترددية مرتبطة حتما بفقد الوقت فى الاشواط العاطلة والارتدادية، وكذلك بالاحمال الديناميكية التى تحد من السرعة. لذلك يستهدف فى الماكينات الحديثة استبدال الحركة الترددية الدورية بالحركة الدورانية المستمرة. ومثال على ذلك التوربينات البخارية والغازية التى حلت محل المحركات الكباسية مع زيادة السرعات والقدرات؛ والمضخات الطاردة المركزية والمضخات الترسية والمروحية، وكذلك ضاغطات الهواء

التوربينية التى أخذت تزاحم المضخات والضاغطات الكباسية؛ وماكينات الحفر الدوار التى حلت محل ماكينات الحفر بالدق؛ وماكينات الطباعة بالاسطوانات بدلا من ماكينات الطباعة المسطحة .. الخ . ان تطور التصاميم فى هذا الاتجاه لم يكتمل بعد . فالحفارة ذات المغرفة الواحدة ، ما زالت للآن تعتبر الماكينات الاساسية فى اعمال الحفر الارضية، اما فى صناعة النسيج فما زال نول النسيج ذو المكوك المتحرك ترددیا هو الماكينة الرئيسية ، وهناك الكثير من امثال تلك الماكينات. الا انه تدرك بعمق فى كل فروع بناء الماكينات ضرورة استبدال ماكينات العمل الدورى بماكينات العمل المستمر؛ وعلى وجه الخصوص توجد فى الفرعين المذكورين نماذج لماكينات حفر الارض وماكينات النسيج ذات الانوال الدوارة يتوقع لها مستقبل باهر.

ان تقسيم الماكينات الى اقسام بهدف التسهيل او حتى بغرض توفير امكانية تصنيعها وتجميعها ونقلها قد جرب منذ القدم. الا انه خلال ٢٥ - ٣٠ عاما، قد اصبح وسيلة مستقلة وهامة لتحسين الدلائل الاقتصادية لانتاج الماكينات واستخدامها . والتصميم المقسم بوعى الى وصلات مع الاخذ بالاعتبارات الواردة فيما بعد قد تسمى حسب مجموعاته (بناء ماكينات التشغيل ، بناء الطائرات) ، أو حسب الكتلة (بناء الرافعات) ان تقسيم تصاميم الماكينات الحديثة الى وصلات ومجموعات، وكتل يتسم بالمميزات التالية :

أ) سهولة عملية تطوير الماكينات، حيث انه عند تجميع الماكينة من وصلات مستقلة، فان وضع الحلول التصميمية المختلفة أو اجراء التحسينات (أو التغييرات) ، واختبارها ، وتطويعها للانتاج بالجملة، يمكن ان تقتصر على مجرد وصلة واحدة، بدون التعرض للوصلات الاخرى ؛

ب) امكانية تكوين ماكينات لاغراض مختلفة استنادا الى عدد غير كبير من الوحدات (أو الكتل) ؛

جـ) تقليص دورة اعمال التجميع ، حيث ان كل الوصلات يمكن ان تجمع وتختبر فى وقت واحد وتسلم جاهزة للتركيب العام ؛

د) سهولة اجراء اصلاح وصيانة الماكينات، وامكانية تغيير بعض الوصلات بوصلات اخرى جديدة او سبق وان تم تصليحها .

وحتى زمن قريب نسبيا ، كان تنقل الطاقة من المحرك الرئيسى الى آليات ماكينات التشغيل يتم بمساعدة الاعمدة والعجلات المسننة والسيور والجنازير والحدبات ودافعات الحدبات والاذرع وغيرها من الاجزاء الاخرى. وتتميز الماكينات الحديثة بالاستخدام الواسع لوسائل الادارة الكهربية والايدرولية والهوائية، مما يسهل كثيرا التحكم بعمل الآليات بما فى ذلك الاتمتة التامة والكاملة لعمليات التحكم التى تجرى عن بعد وفق برنامج معين مهما اختلفت درجة تعقيده .

ان تخفيض كتلة الماكينات مع تحسين جودتها يعتبر اتجاها هاما فى تطوير التصاميم الحديثة .

وكتلة الماكينة (G) مع معامل استخدام المعدن η_{con} يحددان

كتلة المعدن (G_{metal}) الذى يستهلك على صنع الماكينة * ولتخفيض استهلاك المعادن اهمية كبرى فى الاقتصاد الوطنى. اذ يمكن زيادة كمية الماكينات المنتجة وغيرها من المصنوعات عند نفس كمية المعادن التى تنتجها البلاد، اذا ما جرى تخفيض ما يستهلك منها بدون ضرورة انتاجية. وعلاوة على ذلك فان التكاليف التى تبذل على انتاج المعادن تشكل جزءا كبيرا من قيمة تكلفة الماكينات. فمثلا تشكل تلك التكاليف فى بناء ماكينات التشغيل ٣٠٪ - ٤٠٪ من المجموع العام للتكاليف الانتاجية، وهى تزيد بمقدار ٣ر٥ مرة فى المتوسط عن اجور الانتاج.

والوزن النوعى - النسبة بين كتلة الماكينة وبين حجم العمل المفيد الذى تؤديه - يعتبر دليلا على التصميم المنطقى للماكينة. فالوزن النوعى للمحركات مثلا، هو كتلة المحرك بالكيلوجرامات لكل حصان قدرة واحد (او كيلووات واحد) من قدرة المحرك. وهذا الدليل (المؤشر) يعتبر بالنسبة للاسلحة ومنظومات المدفعية، بمثابة النسبة بين كتلة السلاح بالكيلوجرامات وبين قيمة طاقة الرصاصة (أو القذيفة) فى الماسورة مقاسة بالكيلوجرام قوة×متر. ويعتبر هذا الدليل لعربات نقل الركاب بالسكك الحديدية هو معامل العبوة ويساوى النسبة بين كتلة العبوة (العربة فارغة) وبين عدد الركاب.

القيم التقريبية لكتلة العبوة العائدة لكل فرد من المسافرين لمختلف انواع وسائل النقل : للطائرات - ٢٥٠ كجم، لسيارات الركاب - ٣١٧ كجم، وللسيارات الخفيفة - ٣٦٣ كجم، ولعربة السكك الحديدية مع اعتبار كتلة القاطرة - ١١٣٥ كجم، ولعربة السكك الحديدية فى قطار سريع - ٤٥٤ كجم.

ويمكن بواسطة دليل آخر مماثل فى تركيبه، تقييم منطقية (صحة) استخدام المواد فى بعض الوحدات والاجزاء. وعلى سبيل المثال، فان هذا الدليل بالنسبة لصناديق السرعات ومحولات السرعة والقارنات، يساوى النسبة بين كتلة الصندوق او المحول او القارنة الى اقصى قيمة لعزم اللى المنقول.

ومع تطور التكنيك، وزيادة السرعات والقدرات فى الماكينات، ينخفض باستمرار وزنها النوعى. فمثلا، انخفض الوزن النوعى لماكينات الخراطة وقطع القلاووظ ذات الاحجام المتوسطة، من ٦٨٠ كجم/كيلووات فى عام ١٨٧٥، الى ٢٤٠ كجم/كيلووات فى عام ١٩٤٩. وخلال الفترة من ١٩٥٩ حتى ١٩٦٨، قل الوزن النوعى لقاطرات الديزل من ٨ر٥١ حتى ٨ر٣١ كجم/حصان قدرة.

وليس تخفيض الكتلة هدفا فى حد ذاته. اذ يدرس الوزن النوعى للماكينة حتما بالارتباط مع الاقتصاد فى الانتاج والتشغيل، ومع ما يستهلك من المواد، ودرجة التعويل وغيرها من الدلائل التى تميز عمل الاجزاء او الماكينات، ولا يجب ان يكون تخفيض الكتلة سببا فى الإساءة الى تلك الدلائل.

---

* معامل استخدام المعدن يساوى النسبة بين كتلة الماكينة (الجزء)، وكتلة المعدن المصروف على صنعها.

الفصل الاول

تصميم اجزاء الماكينات

الباب الاول

المتطلبات الاساسية المرجوة من الماكينات واجزائها

معلومات عامة

يجب ان تستجيب الماكينة الجارى تصميمها الى كافة الشروط الفنية التى تتعلق قبل كل شئ بانتاجيتها، ومدى التعويل عليها، وعمر استغلالها، وتكلفتها (الابتدائية، ومصاريف تشغيلها)، والمواصفات الوزنية. وفى بعض الحالات تطرح متطلبات اضافية تتعلق بحجم الماكينة وامكانية نقلها (مثلا، عن طريق السكك الحديدية، حيث يكون من المهم تسجيل الماكينة المشحونة على العربة وفق حجمها .. الخ)، ودرجة انتظام دورانها، وتشغيلها دون ضوضاء، وسهولة وبساطة ادارتها، ومظهرها الخارجى وغيرها.

ويضمن تحقيق هذه المتطلبات فى مرحلة تصميم الماكينة بواسطة: الرسم التخطيطى المختار لنقل الحركة وبارامتراته الاساسية؛ ابعاد واشكال اجزاء الماكينات التى تحدد من نظم التشغيل؛ التكنولوجيا المعنية لتصنيع الاجزاء وتجميع الماكينات.

وعند دراسة اسس تصميم اجزاء الماكينات، يصبح من الهام تعيين وتحديد المتطلبات المرجوة من اجزاء بعينها: المتانة والجساءة، مقاومة الاهتزازات، والصمود الحرارى، تكنولوجية التصميم، امكانية انتاج تلك الاجزاء من مواد متوفرة والتكلفة الدنيا.

وبدون تحقيق بعض المتطلبات السابق حصرها، يصبح من المستحيل توفر العمل الطبيعى للماكينة، ولذلك يجب اعتبار تلك المتطلبات المعايير الاساسية للمقدرة على العمل. وتدخل فى عدادها المتانة (الحجمية وللطبقات السطحية) والجساءة (الذاتية وجساءة التلامس)، وبالنسبة لبعض الاجزاء تنضم ايضا اليها مقاومة الاهتزازات والصمود الحرارى.

ويتطلب توفر هذه المعايير الاساسية للمقدرة على العمل، اجراء حسابات مناسبة (حساب المتانة، والجساءة والذبذبة المرنة. الخ)، لذلك فانه يعتبر جزءا لا يتجزأ من عملية تصميم اجزاء الماكينات.

وتتحقق هذه العملية فى المعتاد حسب الترتيب التالى:

١ - يوضع رسم تخطيطى حسابى، يبسط فيه لأقصى حد تركيب الجزء

وطابع تزاوجه مع الاجزاء الاخرى. اما بالنسبة للقوى المؤثرة فتؤخذ على انها اما قوى مركزة أو موزعة وفق قوانين معينة او افتراضية.

٢ - تحدد الاحمال المؤثرة على الجزء.

٣ - تختار المادة على اساس خواصها الطبيعية والميكانيكية بما في ذلك قابليتها للتشغيل مع اعتبار العوامل الاقتصادية (التكاليف، ومدى التوفر وغيرهما)..

٤ - تحسب اهم الابعاد المميزة للجزء حسب مقاييس المقدرة على العمل، التي تعتبر في الحالة المعنية اكثرها اهمية، ثم يجرى تقريب هذه الابعاد حتى توافق الابعاد القياسية المعمول بها. وفي الغالب تعتبر هذه الحسابات حسابات ابتدائية، اذ انها قائمة على اساس الرسوم التخطيطية المبسطة التي لا تسمح بالتقدير الدقيق لمقدرة الجزء على العمل. هذا بالاضافة الى انه في انظمة التحميل النمطية بالنسبة لبناء الماكينات والتي تتميز بظهور اجهادات متغيرة في مقاطع اجزاء الماكينات، لا تعتبر المواصفات الميكانيكية للمتانة (مثلا حد الاطاقة)، دلائل غير متغيرة بالنسبة للمادة المعنية، اذ انها تعتمد على الابعاد المطلقة للجزء وشكله وبعض العوامل الاخرى.

وبناء على ذلك فان الحساب بشكل صحيح يمكن ان يتم فقط في حالة معرفة شكل الجزء وابعاده المطلقة والمعطيات الاخرى التي توصف عمله في الوصلة (الوحدة المجمعة). ولذلك فانه لا يمكن من خلال الحسابات الابتدائية سوى تحديد الابعاد الابتدائية للجزء او الوصلة تمهيدا لتصميمه، ويمكنها فقط في ابسط الاحوال ان تصبح ابعاد الجزء النهائية، وعندئذ تسمى هذه الحسابات بحسابات التصميم.

٥ - ترسم الاجزاء في الشكل العام للوصلة، ثم يجرى حسب نظام التصميم، رسم كل جزء على حدة اى دراسة الجزء تفصيليا من ناحية تصميمه مع بيان كل ابعاده ومقدار السماح فيها، ودرجات نقاوة سطوحه، والمتطلبات التكنولوجية الخاصة (المعالجات الحرارية والطلاء وغيرها).. الخ.

٦ - تجرى حسابات المراجعة (الحسابات الاختبارية) حسب المقاييس الاساسية لمقدرة الجزء على العمل، اى تحدد معاملات الامان في المقاطع الحسابية (الخطرة)، والتشويهات (الانحناءات وزوايا الالتواء)، ودرجة حرارة الوصلة وغيرها، ثم مقارنتها بالقيم المسموح بها. وفي حالة عدم تمشيها مع القيم المذكورة تجرى تعديلات على التصميم ثم اعادة حسابات المراجعة. وبالتقريب المتتابع يتم التوصل الى ضمان توفر التطابق المطلوب بين القيم الحسابية والقيم المسموح بها لمعاملات الامان والانحناءات.. الخ.

وحيث انه يجب التوصل من خلال عملية التصميم الى الحل الامثل الذى يستجيب على احسن وجه للمتطلبات المختلفة (والتي قد تكون متعارضة)، فان عملية البحث عن ذلك الحل تتطلب في العادة دراسة عدة حلول تصميمية مقترحة والمقارنة بينها وتقييمها.

الاحمال فى الماكينات

حمل التشغيل هو الحمل (القوة أو العزم) الذى يتعرض له الجزء او الوصلة فى عملية تشغيل الماكينة.

وتبعا لطابع تغير حمل التشغيل (مع الزمن) ، تنقسم احمال التشغيل الى احمال ثابتة واخرى متغيرة. وتدخل فى عداد الاولى مثلا الاحمال الناتجة من وزن الجزء نفسه او الماكينة.

وفى اثناء عملية الاستخدام تتعرض فى اغلب الاحيان اجزاء الماكينات لتأثير احمال متغيرة، يمكن ان يعتمد طابع تغيرها على عوامل خاضعة لقوانين معينة او على عوامل عفوية. فمثلا بالنسبة للماكينات التى تقوم اثناء العملية الانتاجية بوظائف تكنولوجية معينة، يبقى طابع تغيرالاحمال ثابتا تقريبا بالنسبة للدورة التكنولوجية الواحدة. وفى احوال اخرى، مثلا بالنسبة لسيارات النقل ، يعتمد هذا الطابع على عدة عوامل عفوية (المقاومة التى تنتج من جراء الحركة والتى تحددها التربة وحالة الطرق، وتأثير القصور الذاتى وفعل الرياح .. الخ).

وتبعا لطابع التأثير تقسم الاحمال الى احمال استاتيكية واحمال ديناميكية. وعادة تدخل فى عداد الاحمال الاستاتيكية الاحمال الثابتة التى تسلط على الجزء بهدوء (مع زيادة منتظمة لقيمتها) ، بحيث الا تتسبب عملية التحميل فى احداث ذبذبة فى المجموعة. وتدخل فى عداد الاحمال الديناميكية تلك الاحمال التى يسبب تسليطها حدوث ذبذبة فى المجموعة، بل وحدوث صدمات اذا ما جرى تسليطها بشكل مفاجئ .

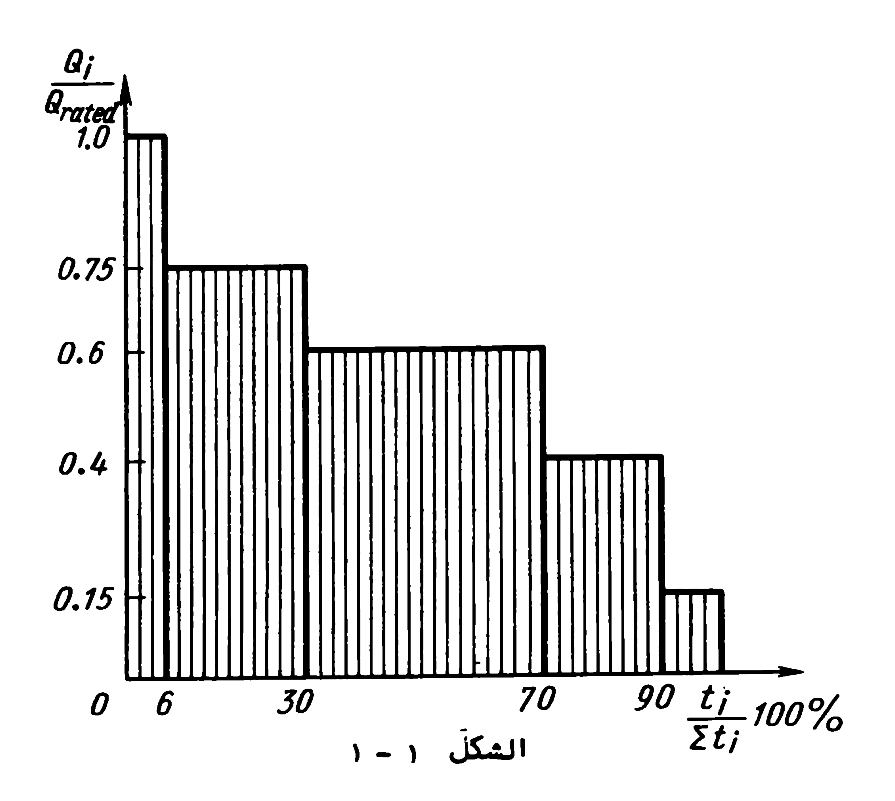
وبسبب الطابع المتغير لاحمال التشغيل ، يدخل احيانا فى الحساب ما يسمى بالاحمال المقدرة. والحمل المقدر Q_{rated} هو الحمل المختار من بين احمال التشغيل المسلطة فى النظام السابق تحديده. وكحمل مقدر يفضل اختيار الحمل الاقصى او الحمل الذى يؤثر لاطول فترة زمنية.

وفى المعتاد تعطى الاحمال المتغبرة فى صورة رسومات بيانية منتظمة ترتب فيها مستويات احمال التشغيل تنازليا حسب قيمها . ويوضح الشكل (١ - ١) رسما بيانيا كمثال لتحميل آلية الرفع فى الرافعة، مرسوما بالنسبة لمحورين متعامدين $\frac{Q_i}{Q_{rated}}$ و $\frac{t_i}{\Sigma t_i}$ حيث: Q_{rated} - القيمة المقدرة (حسب جدول المواصفات) للحمل الممكن رفعه، t_i - زمن تأثير الحمل Q_i ذى الشدة المعنية (حمل متغير) ، Σt_i - زمن تشغيل الآلية فى اثناء العمر الحسابى للخدمة.

والحمل المكافئ يطلق على ذلك الحمل الثابت الذى يمكن ان يقوم مقام حمل التشغيل المتغير المؤثر فعلا ، مع افتراض انهما متكافئان بالنسبة للمعايير المناسبة للكفاءة (مثلا العمر).

$$Q_{eq} = Q_{rated} k_{lon} \quad (1.1)$$

حيث Q_{eq} = الحمل المكافئ ؛
k_{lon} =معامل العمر الذى يعتمد على رسم بيان تغير احمال التشغيل وعلى ذلك الحمل الذى اختير كحمل مقدر.



الشكل ١ - ١

وتحدد ابعاد اجزاء الماكينات حسب الاحمال الحسابية Q_{des} التى تعتمد لا على قيم وطابع تغير احمال التشغيل فحسب، بل وكذلك على خصائص نقل الاحمال حسب دورة نقل القدرة: درجة ديناميتها وانتظام توزيع العمل على اسطح التلامس ، وخصائص التأثير المتبادل للاخيرة (بالمتعشيق او بالتقارن)؛ كما انها تعتمد ايضا على وظيفة الوصلة (او الجزء) وظروف استخدامها.

وعلى ذلك يفهم من الاحمال الحسابية انها احمال افتراضية ثابتة محسوبة من احمال التشغيل مع اعتبار طابع تغيرها وتأثيرها المتبادل مع الاجزاء الملامسة لها ، وهى تحدد ابعاد وشكل الاجزاء بما يتمشى ومعيار المقدرة على العمل . وتبعا لذلك فان التركيب المبدئى (العام) لمعادلة تحديد الحمل الحسابى تكون كالتالى :

$$Q_{des} = Q_{eq} k_{sur} k_d k_{con} = Q_{rated} k_{lon} k_{sur} k_d k_{con} \quad (1.2)$$

حيث k_{sur} - معامل يأخذ فى الاعتبار عدم انتظام توزيع الحمل على اسطح التماس، ويحدد بمساعدة هذا المعامل الحمل الموضعى الاقصى ؛

k_d ـ معامل الديناميه، وهو يرتبط بخصائص دورة نقل القدرة ؛
k_{con} ـ معامل يعتمد على ظروف عمل الاحمال ونقلها (مثلا فى حالة الاقتران الاحتكاكى) .

وتغير العلاقة (1.2) من شكلها بما يتفق وكل حالة للحساب، ففى بعض الاحوال يكون بعض المعاملات مساويا للواحد الصحيح ، وفى البعض الآخر يظهر الاحتياج الى توسيع المعادلة وادخال معاملات اخرى فيها .

وفى الحسابات التمهيدية (التقريبية) كثيرا ما يؤخذ الحمل الاسمى كحمل حسابى .

كفاءة الماكينات واجزائها ومعايير تقديرها

تسمى الاشياء التى تجرى دراستها فى نظرية الكفاءة (العـــــول) بالمصنوعات. ويقصد من هذه التسمية اية من المنظومات او عناصرها ، اما ما يدخل منها فى المنهج الحالى فهو الماكينات وأجزاؤها .

وترتبط مقدرة المصنوعات على العمل بكفاءتها (عولها) ، اى بخاصية اداء هذه المصنوعات للوظيفة المخصصة لها مع احتفاظها بدلائل استخدامها فى الحدود المعطية مسبقا وخلال الفترة الزمنية المطلوبة او خلال قيامها بمقدار معين من العمل . وتعتمد خاصية الاداء فى المصنوعات على عملها دون تعطل وامد عمل (عمر) اجزائها وقابليتها للاصلاح وللمحافظة على شكلها .

ويجب النظر الى دلائل (مؤشرات) الكفاءة باعتبارها مرتبطة باستمرار بالنظام المعطى لتشغيل المصنوعات. اذ ان هذه الدلائل تختلف باختلاف نظم التشغيل بالطبع.

التعطل هو حالة تنحصر فى اختلال مقدرة المصنوعات على العمل . وهو ينقسم بالنسبة لبعض الماكينات الى تعطل كامل او فقدان جزئى للمقدرة على العمل . وعلى سبيل المثال يؤدى كسر اى جزء من اجزاء دورة نقل القدرة فى آلية المرفاع، الى فقدان كامل لمقدرة هذه الماكينة على العمل ، التى تكمن وظيفتها الاساسية فى رفع الاحمال ، على حين ان كسر اجزاء الآليات الاخرى فى المرفاع مثل جهاز الانعطاف او الحركة يمكن الا يؤثر على تنفيذ عمليات رفع الاحمال ، لذا تعتبر اعطالا تؤدى الى فقدان جزئى لمقدرة المرفاع على العمل . ولا يجدر الخلط بين التعطلات وبين الاعطاب التى تعتبر انحرافا عن اى من المتطلبات الواردة فى المواصفات القياسية او الشروط الفنية وما الى ذلك. فمثلا يعتبر الاعوجاج الجزئى فى صندوق سيارة الشحن عطبا وليس تعطلا ، حيث ان مقدرة السيارة على العمل لا تختل بوجود هذا الاعوجاج .

ويمكن ان تكون المصنوعات قابلة للتصليح ، اى يمكن اصلاحها بعد تعطلها ، او ان تكون غير قابلة للتصليح ، ويدخل فى عداد الاخيرة على سبيل المثال

كراسى محاور التدحرج (الكروية والاسطوانية وغيرها) وحبال الرفع، والعجلات المسننة فى كثير من الاحيان وغيرها. ويمكن ان تتكون المصنوعة ـ المنظومة (الماكينة) من عناصر (اجزاء) قابلة للتصليح واخرى غير قابلة للتصليح.

وبناء على ذلك تكون قابلية المصنوعات للعمل دون تعطل، هى خاصية المصنوعة فى الاحتفاظ بمقدرتها على العمل خلال مدة تشغيل معينة وتعرف الاخيرة بانها استمرارية عمل الجزء او حجم هذا العمل مقاسا بوحدات الزمن او المسافة وما الى ذلك.

وعمر المصنوعة (امد عطلها) هو خاصية تلك المصنوعة فى الاحتفاظ بمقدرتها على العمل حتى حالة حدية مع احداث فترات للتوقف بغية اجراء الخدمة الفنية واعمال الصيانة، وفى هذا تعرف الحالة الحدية بانها الحالة التى يستحيل عندها الاستمرار باستخدام المصنوعة او التى يصبح عندها الاستخدام غير مرغوب فيه .

وهكذا، فان اصطلاح العمر بالنسبة للماكينة يقصد منه خاصية الاحتفاظ بالمقدرة على العمل حتى التوقف عن استخدامها (اى حتى " نبذها"). ويمكن التوقف عن استخدام الماكينة التى تعرضت لعمليات تصليح متكررة مرارا، مثلا بسبب استهلاكها معنويا * ، وغيره من الاسباب .

وبالنسبة للاجزاء المجددة ، يتحدد فى الغالب مفهوم الحالة الحدية، اذا لم يكن سبب التعطل هو الكسر الذى يستحيل بعده الاصلاح، بالعوامل الاقتصادية ـ مدى جدوى مواصلة تجديدها .

والقابلية للتصليح هى خاصية المصنوعة التى تنحصر فى صلاحيتها للتجنب التعطلات والاعطاب ولاكتشافها وازالتها، وذلك عن طريق اجراء الصيانة الفنية والتصليح.

ومن المفهوم ان الاجزاء غير القابلة للتصليح لا تتمتع بتلك الخاصية. وبجانب هذا فان الماكينة التى تتكون من اجزاء قابلة للتصليح واخرى غير قابلة له، يجب ان تتميز بدلائل عالية بالنسبة لقابليتها للتصليح .

وبغرض التقييم الكمى للخصائص التى تحدثنا عنها اعلاه والتى تتحدد بها الكفاءة (العول)، تلزم مراقبة مستمرة للادوات قيد البحث فى ظروف استخدامها بهدف دراسة خصائص تحميلها، وخواص موادها وعمل الماكينة ككل واجزائها ووصلاتها. وتجرى معالجة نتائج تلك المراقبات بطرائق الاحصاء الرياضى.

ويعتبر كل من احتمال عدم التعطل عن العمل وكثافة التعطلات دلائل (مؤشرات) اساسية لخاصية عدم التعطل.

---

* يفهم من الاستهلاك المعنوى للماكينة بأنه تلك الحالة التى تصبح عندها متابعة الاستخدام غير مجدية بسبب قلة فعاليتها بالمقارنة بالتصاميم المنتجة حديثا لتأدية نفس الغرض .

وبالنسبة للاجزاء التى يجرى تجديدها ،كثيرا ما تكون مدة التشغيل ، اى متوسط زمن العمل (او الحجم المتوسط للعمل المنفذ) بين ظهور تعطلين متتاليين ، دليلا لخاصية عدم التعطل .

واحتمال عدم التعطل عن العمل - هو احتمال عدم ظهور تعطل ما للمصنوعة خلال مدة تشغيل سبق تعيينها او فى حدود حجم عمل محدد مسبقا . ويمكن تحديد هذه القيمة بالتقريب على انها النسبة بين عدد المصنوعات التى تحتفظ بمقدرتها على العمل خلال الفترة الزمنية المعطاة وبين عددها الاجمالى . فاذا ما تم استبعاد عدد n_p من الاجزاء بسبب التعطلات من بين مجموع N_p من الاجزاء المتماثلة والعاملة فى ظروف تشغيل متساوية، فان احتمال عدم التعطل لذلك الجزء العامل تحت ظروف تشغيل متساوية يساوى

$$p = \frac{N_p - n_p}{N_p} \tag{1.3}$$

واذا ما أخذنا فى الاعتبار ان واقعتى التعطل والصلاحية هما واقعتان متضادتان فان احتمال التعطل يكون :

$$q = 1 - p \tag{1.4}$$

واذا ما كانت المصنوعة المنظومة تتكون من عدة عناصر موصلة على التوالى (علما بان تعطل احد العناصر يؤدى الى تعطل المنظومة كلها) ، فان احتمال عدم تعطل المنظومة عن العمل P يساوى حاصل ضرب احتمالات عدم تعطل عناصرها $(p_1, p_2, \ldots, p_i, \ldots)$:

$$P = p_1 p_2 \cdots p_i \cdots \tag{1.5}$$

وعند التوصيل على التوازى لعدد (m) من العناصر(يحدث تعطل المنظومة عندما تتعطل كل عناصرها) ، ويكون احتمال عدم تعطل هذه العناصر متساويا $(p_1 = p_2 = \ldots = p_i)$

$$P = 1 - (1 - p_i)^m \tag{1.6}$$

ومن تحليل المعادلتين (1.5) و (1.6) نجد ان احتمال عدم تعطل عمل المنظومة يكون اكبر كلما زاد احتمال عدم التعطل فى عناصرها ومكوناتها ، وفى حالة التوصيل على التوالى للعناصر تؤدى زيادة عددها الى خفض كفاءة المنظومة ، ويكون العكس فى حالة التوصيل على التوازى .

ان الخاصية المذكورة والتى تتمتع بها المنظومات المكونة بمساعدة العناصر العاملة على التوازى تستخدم بتوسع فى المعدات ؛ وهى تحدد احدى طرق تكوين الاحتياطى .

ويفهم من تكوين الاحتياطى انه طريقة زيادة الكفاءة (العول) عن طريق ادخال اجزاء احتياطية تعتبر زائدة بالنسبة للتركيب الوظيفى الادنى للمصنوعة والضرورى والكافى لقيام تلك المصنوعة بمهامها المطلوبة.

وفى صناعة بناء الماكينات تتطور افكار تكوين الاحتياطى فى اتجاهات تختلف بعض الشيء عن المبدأ الذى تعرضنا له . حيث ان ادخال العناصر الزائدة على الماكينة غير مستحب بالطبع، اذ انه عند ذلك تستاء اهم المواصفات الاقتصادية - الفنية (التكاليف، الكتلة، الحجم . . الخ)للماكينة. الآ انه فى التركيبة (الماكينة) التى تضمن التوزيع المطلوب للحمل بين العناصر المتوازية، عندما تستحيل تسمية اى من هذه العناصر ، اذا ما دققنا القول ، زائدا ، فان تعطل احد هذه العناصر يؤدى فى غالبية الاحوال الى تخفيض المقدرة على العمل فقط، لا الى التعطل الكامل.

ويفسر هذا بأن أبعاد اجزاء الماكينات تختار، وفقا للمعايير الموجودة للمقدرة على العمل ، بزيادات معينة. وينطبق ما ورد اعلاه بالطبع ايضا على المنظومات المكونة من اجزاء موصلة على التوالى . ان وجود مثل تلك الاحتياطيات يسمى تكوين الاحتياطى حسب البارامترات (مثل المتانة، والجساءة ، ومقاومة التآكل . . الخ) .

ولنفترض ان مجموعة متشابهة للمصنوعات غير المجددة تعمل فى ظروف استغلال واحدة، وان عددها هو N_p ، وكان عدد التعطلات خلال مدة الاستخدام (او الاختبار) ، غير متساو فى وحدة الزمن . واذا توقف عدد (n_p) من المصنوعات عن العمل عند بداية الفترة الزمنية موضع البحث (Δt) (والمختارة عفويا) ، واذا ما بلغ عدد التوقفات عن العمل (Δn) خلال الفترة الزمنية (Δt) ، فان التغير فى وقت قياس العمل بدون تعطل لتلك المصنوعات يحدد بكثافة التعطلات λ .

$$\lambda = \frac{\Delta n}{(N_p - n_p)\,\Delta t}$$

فى الفترة الابتدائية من العمل والمسماة بفترة التطويع (التشغيل الاول) تكون كثافة التعطلات كبيرة، حيث انه فى هذه المرحلة قبل غيرها تظهر عيوب مختلفة فى انتاج المصنوعات. وفى نهاية تلك الفترة تقل التعطلات مقتربة من قيمة ثابتة تقريبا وهى القيمة الخاصة بفترة الاستغلال الاعتيادى. وخلال هذه الفترة يكون ظهور التعطلات مشروطا فى الغالب بالانحراف عن البارامترات المعطاة للانظمة، وبدرجة اقل بسبب العيوب المتفاقمة ببطء ذات الطابع الميتالورجى او الانتاجى . وفى نهاية فترة الاستخدام (او التجربة) ، تزيد من جديد كثافة التعطلات فى تلك الحالات عندما يكون عمل هذه المصنوعات مصحوبا بتغير ابعادها وخواصها الميكانيكية (مثلا نتيجة للتآكل وزيادة الخلوص، وتنامى اضرار الكلال . . الخ) .

وللاجزاء المجددة يمكن ان تكون مدة تشغيل الجزء حتى التعطل ، اى القيمة المتوسطة لمدة التشغيل بين تعطلين متتاليين ، دليلا (مؤشرا) لخاصية الجزء لعدم التعطل :

$$T = \frac{\sum^{n} t_i}{n} \tag{1.7}$$

حيث t_i = القيم المعينة لمدة التشغيل بين تعطلين متتاليين ؛

n = عدد هذه القيم المعينة (اى عدد التعطلات) .

واذا كانت مدة التشغيل تقدر بوحدات الزمن ، فيفهم من اصطلاح "مدة التشغيل حتى التعطل" ، انه متوسط زمن العمل بدون تعطل ، ويمكن للعلاقة (1.7) ان تكتب على الوجه التالى :

$$T = \frac{t}{n} \tag{1.8}$$

حيث t ـ مجموع زمن العمل الفعلى للمصنوعة خلال الفترة الزمنية موضع البحث؛

n ـ عدد التعطلات.

ويمكن ان يكون مثلا المصدر ومدة الخدمة اللذان يفهم منهما على التوالى مدة التشغيل او مدة الاستخدام التقويمية للمصنوعة حتى الحالة الحدية او حتى حالة عدم الصلاحية، يمكن ان يكونان مؤشرين لعمر المصنوعة وفقا لتعريف هذا المصطلح .

ويفهم من الزمن المتوسط اللازم لتجديد المصنوعة (T_{rec})

$$T_{rec} = \frac{\sum^{n} t_{rec\ i}}{n} \tag{1.9}$$

حيث $t_{rec\ i}$ ـ زمن التوقف الاضطرارى اللازم للبحث عن سبب تعطل واحد وازالته ؛

n ـ عدد التعطلات خلال وقت الملاحظة.

وتعتبر القيمة T_{rec} واحيانا سعة العمل من اجل تجديد المصنوعة مقدرا بوحدات انسان ـ ساعة ، المواصفات الاساسية لقابلية الجزء للتصليح .

وفى بعض الحالات يصبح من المناسب تعيين كفاءة المصنوعة بواسطة معامل الاستخدام الفنى والذى يساوى النسبة بين مدة تشغيل المصنوعة مقدرا بوحدات الزمن t خلال فترة استخدام معينة وبين مجموع مدد التشغيل هذه وفترات التوقف التى يستدعيها اجراء الصيانة الفنية Σt_m ، واجراء التصليح $\Sigma t_{rec\ i}$ خلال نفس فترة الاستخدام :

$$k_{tu} = \frac{t}{t + \Sigma t_m + \Sigma t_{rec\ i}} \tag{1.10}$$

الباب الثانى

المعايير الاساسية للمقدرة على العمل وحسابات أجزاء الماكينات

ويجرى تحديد كفاءة (عول) الماكينة بخواصها التصميمية وبالتكنولوجيا المستخدمة ونظام استخدامها.

وتوضع اسس الكفاءة فى مرحلة التصميم. وتتكون خصائص العمل دون تعطل وعمر الماكينة اثناء حساب الاجزاء وفق المعايير المناسبة للمقدرة على العمل وتصميم تلك الاجزاء مع اعتبار خصائص تكنولوجيا التصنيع والاستخدام. كما تتكون خاصية قابلية الاجزاء للتصليح عند الدراسة التصميمية للجزء والوصلة والماكينة.

المتانة

فى عملية استخدام الماكينة تحت تأثير الاحمال المؤثرة على اجزائها، يمكن ان تظهر تشوهات متخلفة (ثابتة) كبيرة بشكل لا يسمح به، ثم وتهشمات فى اقسام الماكينات وذلك فى حالة عدم كفاية متانتها.

وفى الكثير من الحالات تكون التشوهات المتخلفة غير مسموح بها، حيث ان تغيير شكل وابعاد الاجزاء يمكن ان يؤدى الى الاخلال بالتأثير المتبادل الطبيعى بين اجزاء الماكينة، والى تغير الطابع المطلوب لازدواج الاجزاء فى وصلاتها .. الخ.

وتحطم اجزاء الماكينات يظهر على هيئة كسور او اتلاف اسطحها العاملة (بالتفتت او التآكل وغيرهما). ولا يسمح بحدوث لكسور التى تنشأ فى وقت سابق لاوانه، وكذلك الاتلاف المتفاقم فى اسطح تشغيل اجزاء الماكينات.

ويجب ان تبحث مسألة متانة اجزاء الماكينات بالارتباط مع امد عملها.

وعمر الماكينات يختلف باختلاف اغراض استخدامها. فمثلا، لا يتجاوز امد عمل محرك الطائرة عن بضع مئات من ساعات التحليق، بينما يقدر امد عمل مرفاعات (اوناش) المناجم المحسوب بـ ١٠٠٠٠ ساعة، وبالنسبة لماكينات تشغيل المعادن فان امد عملها يبلغ ٥٠٠٠٠ ساعة.

ونتيجة لاختلاف اجهادات الاجزاء فى الماكينة الواحدة يكون من المهم اجادة التحكم بعمر اجزائها وعدم السماح بتعطل الماكينة قبل الاوان وذلك لضمان مدد التشغيل اللازمة بين التصليحين المتتاليين. وعلى ذلك يكون

من المهم تحديد عمر بعض الاجزاء. فمثلا يشكل عمر كراسي محاور التدحرج المستخدمة في ماكينات تشغيل المعادن وغيرها من الماكينات الاخرى ، ۰۰۰ه ساعة.

وعلى ذلك ،تكون مهمة ضمان المتانة اللازمة في تحديد ابعاد واشكال اجزاء الماكينات الكفيلة بمنع امكانية ظهور التشوهات المتخلفة غير المسموح بها ، والكسور قبل اوانها ، وتحطم الاسطح.

وفي الحسابات الابتدائية والتصميمية، تعتبر اوسع الطرائق انتشارا في تقدير متانة الاجزاء، هي المقارنة بين الاجهادات الحسابية σ و τ وبين الاجهادات المسموح بها $[\sigma]$ ، $[\tau]$. ويكتب شرط المتانة على الوجه التالي :

$$\sigma \leqslant [\sigma], \quad \text{أو} \quad \tau \leqslant [\tau] \tag{2.1}$$

حيث

$$[\sigma] = \frac{\sigma_{lim}}{[n]} \quad \text{أو} \quad [\tau] = \frac{\tau_{lim}}{[n]}$$

وفي هاتين الصيغتين σ_{lim} ، τ_{lim} هما اجهادا الشد (الضغط) والقص اللذان يظهر عندهما التعطل ، اما نتيجة للتشوه المتخلف الكبير ، أو نتيجة للتحطم ؛ و $[n]$ معامل الامان في المتانة.

وفي حسابات المراجعة يجرى هذا التقييم في المعتاد بمقارنة معاملات الامان n مع المعاملات المسموح بها $[n]$ مع مراعاة ان

$$n \geqslant [n] \tag{2.2}$$

ان الحسابات وفق العلاقة (2.2) تضمن امكانية الأخذ بنظر الاعتبار لمختلف العوامل التي تؤثر على متانة اجزاء الماكينات، وذلك بشكل تام وعلى اساس علمي.

وفي بعض الاحيان ، وخصوصا عند تأثير الاحمال الاستاتيكية يحدد معامل الامان وفق المقدرة القصوى على الحمل :

$$n = \frac{P_{lim}}{P} \geqslant [n] \tag{2.3}$$

حيث P_{lim} ، P هما الحمل الاقصى عند لحظة التحطم، والحمل الحسابي.

ان الحسابات المستعملة في بناء الماكينات تحمل ما يسمى بالطابع التحديدى، حيث انها تفترض ان العلاقات المستخدمة في الحسابات بين بارامترات التحميل ومواصفات المتانة تتسم بأهمية معينة. وبجانب هذا فهي تعتبر قيما اختيارية، حيث انه في عملية الاختبار (التشغيل) ، يمكن لهذه البارامترات ان تأخذ قيما مختلفة في فترة زمنية محددة. وعند ذلك يكون التحديد الموثوق به لهذه القيم ممكنا فقط على اساس الاختبارات والملاحظات المنظمة جيدا ثم معالجة نتائجها بطرائق الاحصاء الرياضي. ومع وجود مثل هذه المعطيات يصبح ممكنا تقدير احتمال عدم تحطم الجزء المصمم على اساس معامل الامان المعطى.

وتدرس طرائق الحساب هذه الآن دراسة وافية، وتوضع بما يتفق ومسائل بناء الماكينات (وقبل كل شيء بما يتفق وطرائق حساب المتانة). وفي

غالبية المسائل المحددة لا يزال استخدام طرائق الحساب هذه صعبا بسبب عدم وجود المعطيات التى تسمح بتحديد القيم الداخلة فى شرط المتانة بدرجة موثوق بها .

المتانة الحجمية. فى المعتاد تكون اشكال اجزاء الماكينات معقدة. فوجود المقاطع الانتقالية، والقنوات (المجارى) والفتحات (الثقوب) والمكبوسات وغيرها من نقط تركيز الاجهادات المسماة ايضا بمركزات الاجهادات (concentration stress) ، يولد تركيز الاجهادات، الظاهرة التى تنحصر فى زيادة الاجهادات موضعيا وتغير حالة الاجهاد فى منطقة التغير الحاد فى شكل الجزء. علما بأن :

أ) الاجهاد الموضعى الاقصى يمكن ان يزيد كثيرا على الاجهاد المقدر ؛

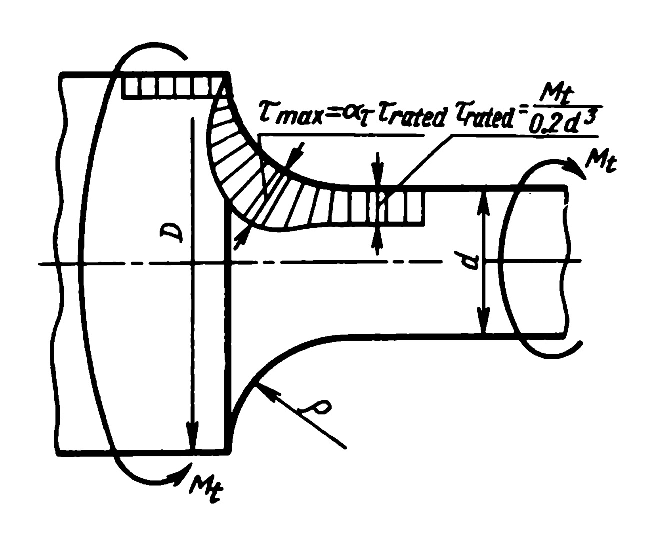
ب) تقل الاجهادات الموضعية بسرعة مع الابتعاد عن مركز الاجهاد الذى استحدثها ، وبقول آخر فان هذه الاجهادات تتميز بمعدل تغير (ميل)كبير.

ويرد فى الشكل (٢ - ١) ، مثال توزيع اجهادات القص على طول منحنى عمود مدرج يؤثر عليه عزم لى M_t .

وتسمى النسبة بين الاجهاد الموضعى الاكبر وبين الاجهاد المقدر بمعامل تركيز الاجهادات، ويحدد فى منطقة المرونة :

$$\alpha_\sigma = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_{rated}} ; \quad \alpha_\tau = \frac{\tau_{max}}{\tau_{rated}} \tag{2.4}$$

الا ان الانخفاض الحقيقى فى متانة الجزء نتيجة لتركيز الاجهادات لا يعين بقيمة المعامل α ؛ اذ انه يعتمد لا على شكل مركز الاجهادات فحسب، بل وعلى خواص المادة التى يصنع منها الجزء والتى تظهر بتباين تبعا لنظام التحميل وتقيم بمعامل تركيز الاجهادات الفعال k ، الذى يعرف بالنسبة بين الاجهادين الاقصيين مع ثبات نوع التحميل لعينة ملساء وعينة ذات مركز للاجهادات بحيث تتطابق العينتان تماما فى ابعادهما .



الشكل ٢ - ١

فمثلا فى حالة التحميل الذى يسبب اجهادا متغيرا مع تغير الزمن :

$$k_\sigma = \frac{\sigma_R}{\sigma_{R_c}}, \quad k_\tau = \frac{\tau_R}{\tau_{R_c}} \tag{2.5}$$

حيث σ_R ، τ_R ، σ_{R_c} ، τ_{R_c} - حدود الاطاقة للعينة الملساء وللعينة ذات تركيز الاجهادات على التوالى عند تساوى باقى الظروف. وفى العادة تكون قيمتا k_σ ، و k_τ اقل من قيمتى α_σ ، و α_τ على التوالى والعلاقة الكمية بينهما تحدد بمساعدة معامل حساسية المادة لتركيز الاجهادات :
بالنسبة للاجهادات العمودية

$$q_\sigma = \frac{k_\sigma \sigma_{rated} - \sigma_{rated}}{\alpha_\sigma \sigma_{rated} - \sigma_{rated}} = \frac{k_\sigma - 1}{\alpha_\sigma - 1}$$

اما بالنسبة لاجهادات القص فان

$$q_\tau = \frac{k_\tau - 1}{\alpha_\tau - 1}$$

وعند تكون قيمتا α و q معروفتين يمكن تحديد قيمتى معاملى تركيز الاجهادات الفعالين :

$$k_\alpha = 1 + q_\sigma(\alpha_\sigma - 1); \quad k_\tau = 1 + q_\tau(\alpha_\tau - 1) \tag{2.6}$$

فاذا ما كانت المادة غير حساسة بالنسبة لتركيز الاجهادات (اى ان $q_\sigma = 0$ ، $q_\tau = 0$) ، فان $k_\sigma = 1$ ، و $k_\tau = 1$. اما بالنسبة للمواد التى تمتاز بالحساسية الكاملة لتركيز الاجهادات (اى $q_\sigma = 1$ ، $q_\tau = 1$) ، فان

$$k_\sigma = \alpha_\sigma, \quad k_\tau = \alpha_\tau$$

وبالنسبة لصلب الانشاءات تتراوح قيمة q فى المتوسط ما بين ٦ر٠و٨ر٠ ، علما بأن القيم الاعلى لـ q تكون مناظرة لانواع الصلب ذات حد المتانة الاعلى .

المتانة فى حالة الاجهادات الاستاتيكية: فى حالة التحميل الذى يولد فى المقاطع اجهادات استاتيكية يكون اختيار σ_{lim} (τ_{lim}) فى شرط المتانة (2.1) معتمدا على حالة المادة (مادة لدنة او قصيفة) .

وبالنسبة للمواد اللدنة يفهم من الاجهاد الحدى انه حد الخضوع. اما بالنسبة القصيفة ذات البنية غير المتجانسة مثل الحديد الزهر يجب اعتبار حد المتانة اجهادا حديا .

وفى احوال التحميل الاستاتيكى لا تخفض مركزات الاجهادات مقدرة الاجزاء على الحمل ، اذا كانت مصنوعة من مواد لدنة. ويفسر هذا بأن التشوهات اللدنة الموضعية تساعد على اعادة توزيع وتسوية الاجهادات فى مقاطع الجزء . وتلاحظ فى هذه الحالة زيادة المتانة فى منطقة تركيز الاجهادات مما يساعد على رفع قيمة المتانة. ولهذا السبب فان حسابات المتانة فى حالة الاجهادات الاستاتيكية للاجزاء المصنوعة من المواد اللدنة، تجرى على اساس الاجهادات المقدرة.

وبالنسبة للمواد قليلة المرونة وذات البنية المتجانسة (مثل الصلب السبائكي ، وانواع الصلب التى تعمل فى درجات حرارة منخفضة. . الخ) ، يجب اجراء الحساب وفقا لاكبر اجهاد موضعى حيث ان تركيز الاجهادات يقلل من متانة الجزء .

وبالنسبة للمواد القصيفة ذات البنية غير المتجانسة (مثل الحديد الزهر) ، فبسبب حساسيتها المنخفضة نحو تركيز الاجهادات، يجرى الحساب وفق الاجهادات المقدرة.

المتانة في حالة الاجهادات المتغيرة: يعتبر نظام التحميل الذى يسبب فى مقاطع الاجزاء اجهادات تتغير مع الزمن ، هو النظام الاكثر تميزا للماكينات.

فمثلا يتغير مقدار الاجهادات عند قاعدة سن العجلة المسننة (الترس) ، مع بدخول هذه السن فى التعشيق وخروجها منه ، اما بالنسبة لنقل الحركة مع امكانية تغيير اتجاه الدوران ، فتتغير هذه الاجهادات بالنسبة لاشارتها ايضا . كما تتغير اجهادات الثنى فى المقطع العرضى للعمود دوريا سواء فى القيمة ام فى الاشارة . . الخ .

ويحدث تحطم الاجزاء فى هذا النظام للتحميل عند اجهادات اقل من حد المتانة، بل وقبل حد الخضوع، اذا حدثت هذه التغيرات بعدد من المرات كبير بما فيه الكفاية . ونتيجة لذلك، فان تحطم الاجزاء " باكلال "، حتى وان كانت مصنوعة من مواد لدنة، يحدث فى المعتاد بدون ظواهر خارجية للتشوهات اللدنة، وهى لذلك تحمل طابع التحطمات المفاجئة.

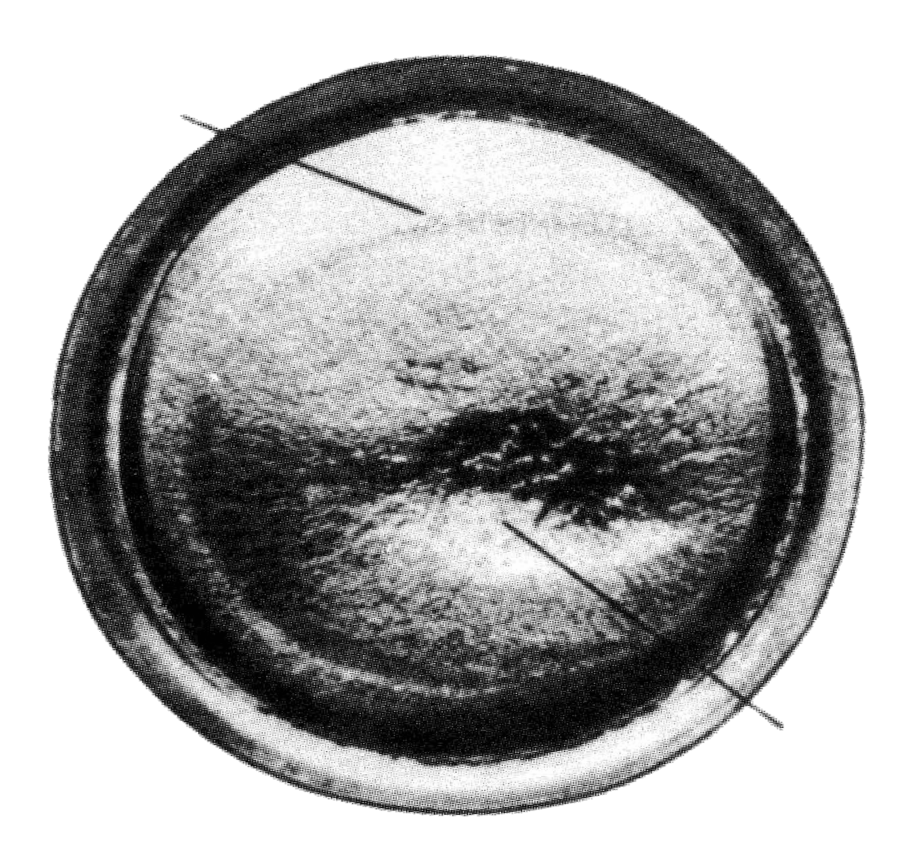
ويوضح التحليل الاحصائى لحالات وقوع كسر اجزاء الماكينات والمنشآت ، ان حوالى ٨٠ ٪ من هذه التحطمات تعتبر تحطمات كلالية.

والكسر الكلالى النمطى (شكل ٢ - ٢) يحتوى على منطقتين : منطقة التحطم الكلالى (أ) التى يتسم سطحها بحبيبات دقيقة ويكون ناعما تقريبا ، حيث بدأ شرخ الكلال يسرى متعمقا فى المقطع، ومنطقة التحطم الاستاتيكى (ب) ذات تركيب بلورى كبير ، حيث وقع التحطم النهائى (القصيف) .

ويمكن ان يبدأ التحطم الكلالى فى عدة بؤر فى آن واحد . كما ان شكل مناطق التحطم بالكلال يعتمد على عدد دورات التحميل ، التى يتزايد اثنائها الشرخ ، حيث انه يحدث اثناء عملية التحميل الدورى تغضين وحك متبادل بين سطحى الشرخ تصحبهما زيادة فى صلادة المعدن على البارد .

ومع تغير التحميل دوريا تغيرا غير كبير يتفاقم التحطم ببطء . ويتحمل الجزء عددا كبيرا من دورات التحميل حتى يحدث الكسر النهائى (القصيف) ، ويكون تأثير التغضين والحك المتبادلين بين سطحى الشرخ كبيرا ؛ ويقترب هذان السطحان بمظهرهما الخارجى من مظهر الاسطح المجلخة حتى اللمعان ، كما تتباين بشدة منطقتا الكسر . وفى هذه الحالة يتغلغل الكسر الى عمق كبير وتكون النتيجة ان منطقة التحطم الاستاتيكى تصبح صغيرة نسبيا .

اما عند زيادة درجة التغير الدورى للتحميل ، يقل الاختلاف بين المنطقتين



الشكل ٢ - ٢

فى مظهرهما الخارجى ، حيث ان عدد تكرار التحميل حتى التحطم يقل مع زيادة الاجهادات المؤثرة. وتقل مساحة منطقة تغلغل شرخ الكلال ، بينما تزيد مساحة منطقة التحطم الاستاتيكى .

ويعتمد شكل وابعاد منطقة التحطم الاستاتيكى على ظروف التحميل ، وقيم الاجهادات المقدرة ، التى يحدث عندها التحطم ، وقيمة معامل تركيز الاجهادات.

وتتيح دراسة الكسور امكانية تحديد الظروف التى تستبعد وقوع مثل هذه التحطمات.

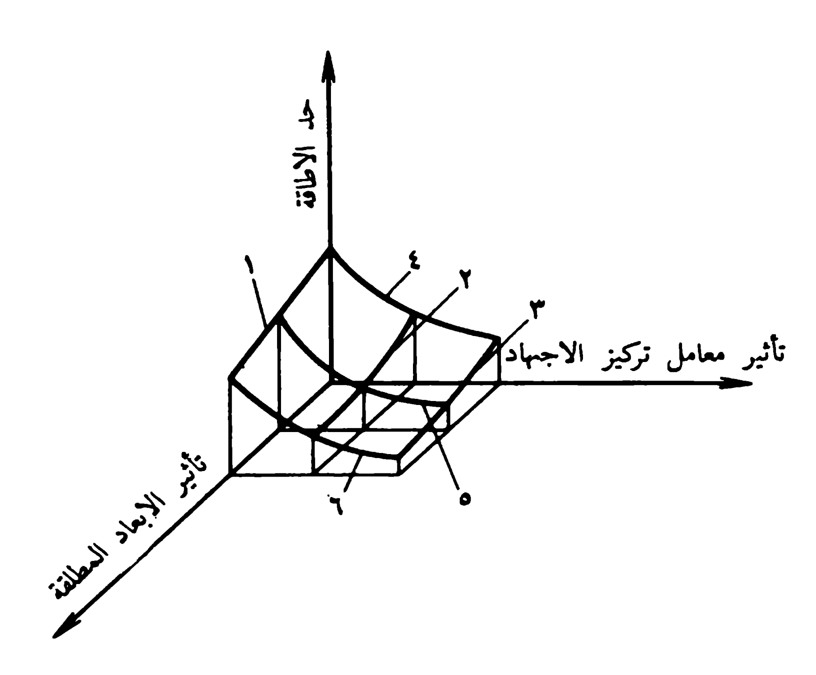
وتتحدد مواصفات متانة المواد واجزاء الماكينات فى احوال الاجهادات المتغيرة حسب نتائج الاختبارات التى تجرى معالجتها بطرائق الاحصاء الرياضى . وتكون حدود الاطاقة التى تنقسم ، تبعا لاساس الاختبارات (عدد الدورات) الى الحد الطويل الاجل والمحدود (عندما يكون عدد الدورات المعنى اقل مما يسمى بعدد الدورات الاساسى) ، بمثابة المواصفات الاسياسية للمتانة .

ويتم الحصول على معطيات متانة المواد تحت تأثير الاجهادات المتغيرة ، فى الغالب نتيجة لاجراء التجارب على عينات بمواصفات قياسية وذات اقطار صغيرة. ولذلك يتطلب تقدير متانة اجزاء الماكينات اعتبار تأثير العوامل الاساسية التالية على تحملها : شكل الجزء وابعاده المطلقة؛ حالة سطحه وخواص طبقته السطحية ؛ التغير فى انظمة التحميل .

ويمكن الحصول على ادق تصور عن المتانة الحقيقية لاجزاء الماكينات من نتائج الاختبارات الطبيعية على هذه الاجزاء فى الماكينات التى تجرى

تمثيلا كاملا لظروف التشغيل فى تحميل الجزء (حسب نوع حالة الاجهاد وانظمته .. الخ).

تأثير اشكال بناء اجزاء الماكينات على تحملها : ان مقارنة نتائج اختبارات المتانة لاجزاء الماكينات وللعينات الملساء ذات الاقطار الصغيرة المصنوعة من نفس هذه الاجزاء، توضح ان انخفاض المتانة بالنسبة لغالبية الاجزاء نتيجة لتأثير شكلها وابعادها المطلقة، يكون كبيرا . فمثلا النسبة بين حدى الاطاقة للجزء والعينة هى لعمود المرفق حوالى ٣ر٠ - ٤ر٠ ؛ ولمحور عربات السكك الحديدية حوالى ٣٧ر٠ ؛ ولمسامير القلاووظ حوالى ١٣ر٠ .. الخ .



الشكل ٢ - ٣

ويوضح الشكل (٢ - ٣) رسما تخطيطيا مبدئيا لتأثير شكل الاجزاء وابعادها المطلقة على تحملها للكلال . والمنحنيات مرسومة بالنسبة للعينات (الاجزاء) : الملساء (١) ، وذات مركزات الاجهادات القليلة (٢) ، والعالية (٣) ، من ذات الابعاد الصغيرة (٤) ، والمتوسطة (٥) ، والكبيرة (٦) .

ويؤخذ تأثير الشكل فى الاعتبار بواسطة معامل تركيز الاجهادات الفعال المحسوب فى العادة بواسطة الصيغة (2.5) عندما يكون $(R = -1)$:

$$k_\sigma = \frac{\sigma_{-1}}{\sigma_{-1c}}, \quad k_\tau = \frac{\tau_{-1}}{\tau_{-1c}}, \tag{2.7}$$

حيث σ_{-1} ، τ_{-1} ، σ_{-1c} ، τ_{-1c} هى قيم حدود الاطاقة فى حالة الدورة المتناظرة بالنسبة للعينة الملساء ، والعينة (الجزء) ذات نفس القطر d ولكن مع مركز الاجهادات.

وتعتمد قيمة k_σ على الابعاد المطلقة لمقطع الجزء ايضا : فمع المحافظة

على التطابق الهندسى بين الاجزاء كلما زادت ابعادها تزداد قيمة k_σ وتقترب من قيمة α_σ .

وبالنسبة للحديد الزهر تؤخذ قيمة k_σ قريبة من الواحد الصحيح . واذا تساوت مركزات الاجهادات فان k_τ فى حالة اللى الدورى، تكون اقل من k_σ فى حالة الحنى (الثنى) او حالة الشد والضغط. والعلاقة التقريبية بينهما يمكن صياغتها كما يلى :

$$k_\tau = 1 + 0.6(k_\sigma - 1)$$

وتتميز الاشكال الحقيقية لاجزاء الماكينات فى المعتاد بوجود عدة مركزات الاجهادات فى نفس المقطع بسبب متطلبات بناء الجزء او المتطلبات التكنولوجية وفى بعض الاحيان بسبب عوامل تشغيله (التآكل بالصدأ وما الى ذلك) .

فمثلا يحدث كثيرا ان يوجد مجرى الخابور فى منطقة المنحنى الانتقالى من قطر لآخر، وفى بعض الاحيان يجب فى هذا الشأن مراعاة تأثيرالمكبوسات ايضا . ففى تلك الاحوال تلاحظ ظاهرة تجمع (تشديد) تأثير تركيز الاجهادات. وعندما تكون مركزات الاجهادات متجاورة، يمكن ان يظهر فى ظروف خاصة نتيجة للتأثير المتبادل لمجالات الاجهادات الناتجة من كل من المركزات، تأثير تخفيف التحميل الناتج من تركيز الاجهادات.

والتأثرات المشار اليها لم تدرس بعد بدرجة كافية ولذلك اذا ما اثرت عدة مركزات فى المقطع موضع الحساب كثيرا ما يكتفى عند تحديد الاجهاد الاكبر باعتبار القيمة الكبرى $k_\sigma(k_\tau)$ فقط.

وتأثير الابعاد المطلقة للمقطع على حد الاطاقة يؤخذ فى الاعتبار بواسطة معامل تأثير الابعاد المطلقة للمقطع (عامل المقياس- scale factor)، ε الذى يساوى النسبة بين حدى الاطاقة للجزء ذى القطر d ، وللعينة المماثلة ذات الابعاد الصغيرة ($d_0 = 6 \div 10$ mm)

$$\varepsilon_\sigma = \frac{(\sigma_{-1})_d}{(\sigma_{-1})_{d0}}, \quad \varepsilon_\tau = \frac{(\tau_{-1})_d}{(\tau_{-1})_{d0}} \tag{2.8}$$

وعند وجود مركزات للاجهادات :

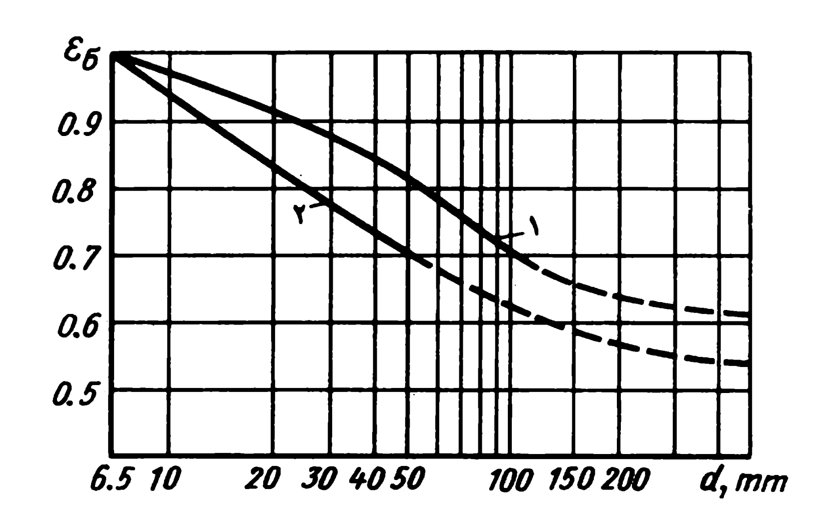
$$\varepsilon_{\sigma c} = \frac{(\sigma_{-1c})_d}{(\sigma_{-1c})_{d0}}, \quad \varepsilon_{\tau c} = \frac{(\tau_{-1c})_d}{(\tau_{-1c})_{d0}} \tag{2.9}$$

والشكل (٢ - ٤) يمثل رسما بيانيا لتعيين معامل تأثير الابعاد المطلقة للمقطع ε_σ للاجزاء المصنوعة من الصلب الكربونى (١) والصلب السبائكى (٢) .

ويفسر انخفاض حد الاطاقة عند زيادة الابعاد المطلقة لمقطع الجزء بعدة اسباب.

فمع زيادة ابعاد مقاطع الجزء يزيد احتمال التولد المبكر لشروخ الكلال بسبب عدم تجانس الخواص الميكانيكية واجهادات مختلف الحبيبات وكذلك لامكانية وجود مختلف انواع العيوب الداخلية (فقاقيع الهواء - " البخبخة"، والشروخ الدقيقة) .

ويكون لتكنولوجيا تصنيع العينات والاجزاء تأثير ملموس على تحملها للكلال حيث انه فى عملية التشغيل الميكانيكى تحدث تغيرات فى خواص الطبقة السطحية للمادة. ويكون لمتانة الطبقة السطحية فى غالبية الاحوال، التأثير الحاسم على تحمل الجزء للكلال . وفى تلك الاحوال التى يظهر فيها اثناء عملية التشغيل تأثير زيادة المتانة، يؤثر مفعولها بشكل اقوى على المصنوعات ذات الاقطار الصغيرة من جراء العمق الكبير نسبيا لتغلغل الطبقة ذات المتانة الاعلى .



الشكل ٢ - ٤

وهكذا فان التأثير المحصل لتركيز الاجهادات والابعاد المطلقة للمقاطع يمكن تقديره بالنسبة بين حد الاطاقة لعينات المختبر الملساء ذات القطر الصغير d_0 ، وبين حد الكلال للجزء ذى القطر d :

$$(k_\sigma)_D = \frac{(\sigma_{-1})_{d_0}}{(\sigma_{-1c})_d} \qquad (2.10)$$

وباعتبار الصيغتين (2.7) ، (2.8) نحصل على

$$(k_\sigma)_D = \frac{k_\sigma}{\varepsilon_\sigma} \qquad (2.11)$$

واذا عرفنا حد الاطاقة للعينة d_0 ، ومعاملات تركيز الاجهادات الفعالة، ومعاملات تأثير الابعاد المطلقة للمقطع، يمكن تعيين حد الاطاقة للجزء ذى القطر d :

$$(\sigma_{-1c})_d = \frac{(\sigma_{-1})_{d_0}}{(k_\sigma)_D} = \frac{(\sigma_{-1})_{d_0}}{k_\sigma} \qquad (2.12)$$

ويمكن الحصول على صيغ اجهادات القص من الصيغ السابقة، وذلـــــك باستبدال σ بـ τ .

والقيم الواردة فى المراجع الاعلامية لمعاملات تركيز الاجهادات وحساسية

المعادن لتركيز الاجهادات وتأثير الابعاد المطلقة، تحدد بمنحنيات تحمل الكلال ، المستقاة من المعالجة الاحصائية لمعطيات اختبارات الكلال التي تستجيب فى المعتاد للمتطلبات بنسبة ٥٠ ٪ أو ما يقاربها لاحتمال عدم التحطم.

ونتيجة لتأثير مجالات التشتت عند تقدير حدود الاطاقة، تعتبر قيم المعاملات المذكورة عشوائية، ولذلك يلزم لتحسين الطرائق الحديثة لحساب اجزاء الماكينات اذا دقتنا القول ، الاسترشاد بنظرية الاحتمالات فى تقييمها.

تأثير حالة الاسطح وخواص الطبقة السطحية لاجزاء الماكينات فى تحملها للكلال. ان دور الطبقات السطحية مشروط بأنه فى غالبية الحالات تظهر شروخ الكلال الابتدائية على الاسطح. ويساعد على ذلك: أ) وجود مركزات للاجهادات على الاسطح ، بما فى ذلك تلك المركزات التى تتكون اثناء عملية التشغيل (مثل عدم الانتظام الدقيق) ، ولاسباب الاستخدام وغيرها؛ ب) الخواص المميزة للطبقة السطحية التى تعتبر حدية وتحتوى على حبيبات بلورية متحطمة، وبالتالى ضعيفة (من حيث المتانة)؛ حـ) تأثير الوسط الخارجى ؛ د) حالة الاجهاد الاعلى للطبقات السطحية اثناء الانواع الاساسية للتحميل (الحنى واللّى).

ولعمليات قطع المعادن ، التى يتم بمساعدتها اعطاء اجزاء الماكينات الشكل المطلوب ، تأثير كبير على حالة اسطحها. ويتعلق هذا التأثير قبل كل شئ بتكوين تعرجات دقيقة الحجم على السطح، وظهور تشوهات لدنة - زيادة صلادة الطبقة السطحية على البارد - وتسخين الطبقة السطحية اثناء التشغيل .

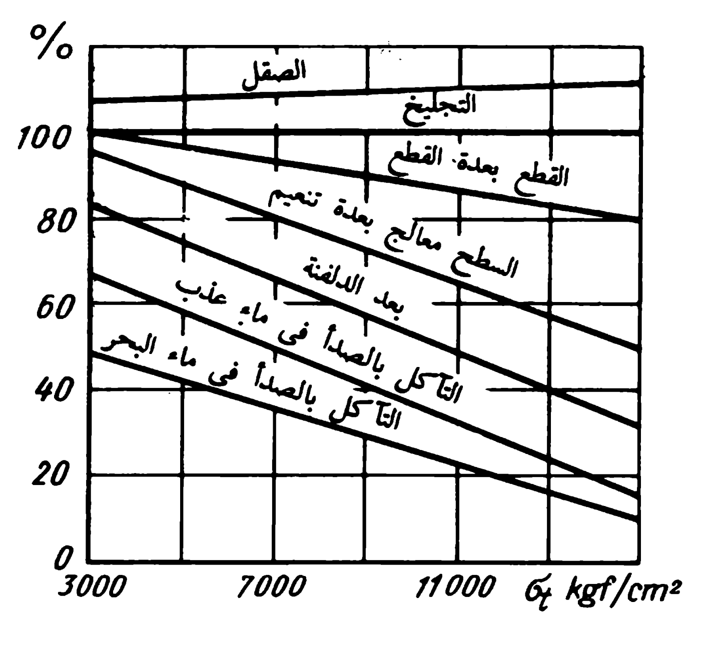
ان الآثار المتبقية على السطح بعد المعاملة الميكانيكية تلعب دور مركزات للاجهادات وتخفض من متانة الجزء.

والعوامل المميزة لعمليات التشوه اللدن للطبقة السطحية (درجة زيادة الصلادة على البارد ، وسمك طبقة التصلد على البارد ، وقيمة الاجهادات المتخلفة) ، وعملية تسخينها (درجة طراوة الطبقة، ودرجة تغير الخواص بالزمن (التعتيق) ، وقيمة الاجهادات المتخلفة) تؤثر على متانة اجزاء الماكينات تأثيرات متباينة. اذ تساعد زيادة التصلد على البارد والاجهادات المتخلفة فى حالة الضغط فى الطبقة السطحية على زيادة حد الاطاقة؛ اما ظهور اجهادات متخلفة فى حالة الشد فيؤثر بالعكس، اذ يقلل هذا الحد .

والشكل (٢ - ٥) يوضح طابع تأثير سبل معاملة السطوح والتآكل بالصدأ على حد الاطاقة. فاذا ما اعتبرنا ان حد الاطاقة لعينة مجلخة على انه ١٠٠ ٪ ،فان صقل السطح يسبب متابعة زيادة المتانة؛ اما الانواع الاخرى من المعالجات فتخفض من حد الاطاقة بشكل يتزايد مع زيادة حد متانة المعدن σ_u .

ويبدى تأثيرا كبيرا على متانة الكلال ،لا طريقة المعالجة فحسب ، بل ونظام القطع ايضا . فمثلا ، ان الطرائق واسعة الاستعمال فى القطع السريع

للمعادن نافعة ليس فقط بسبب تعجيل عمليات التصنيع، وزيادة الانتاجية تبعا لذلك فحسب، بل لانها تساعد، علاوة على ذلك، على زيادة تحمل اجزاء الماكينات للكلال ايضا.



الشكل ٢ - ٥

وبهدف تحسين الحالة الطبيعية للطبقات السطحية للاجزاء فى بناء الماكينات، تستخدم طرائق خاصة فى المعالجة تجمعها تسمية تكنولوجيا زيادة المتانة.

ان زيادة المتانة المتعلقة بزيادة متانة الطبقة السطحية وبظهور اجهادات ضغط متخلفة فيها يمكن التوصل اليها عن طريق: أ) المعالجة الميكانيكية (التشكيل بالبثق، والصقل بالاسطوانات او الكريات، وطرق المنحنيات بادوات الطرق والصقل الايدرولى وغيرها)؛ ب) المعالجة الحرارية والكيماوية الحرارية (تقسية الاسطح، والتقسية الاسمنتية، والتقسية الآزوتية.. الخ).

ونتيجة للتشكيل بالبثق تنشا طبقة رقيقة ذات متانة اعلى يبلغ سمكها ٤ر٠ - ٨ر٠ مم، تعتبر ذات فعالية كبيرة للغاية عند وجود مركزات للاجهادات ناتجة من الاسباب التكنولوجية او البنائية.

كما ان عملية صقل الاسطح بالاسطوانات المسخنة تخلق نفس التأثير من حيث المبدأ فى زيادة المتانة. وعملية الصقل هذه، خلافا عن الصقل بالقذوفات الذى يترك على السطح شبكة من التفضنات (النقر) المجاورة لبعضها البعض، تنتج سطحا نظيفا مستويا، اما التصلد على البارد الناتج عنها فيتغلغل لعمق يصل الى ٢ مم واكثر.

ونتيجة للصقل بالاسطوانات او الكريات للعينات ذات الثقوب القطرية، ومع وجود مركز اجهاد دائرى يزيد حد الاطاقة بنسبة ٦٠٪، ومع وجود المكبوسات تصل زيادة المتانة الى حوالى ٤٠٪ .. الخ.

ان تأثير نوعية السطح التى تحدد بالمعالجة الميكانيكية يزول تماما اذا ما اعقبتها عملية صقل بالاسطوانات والكريات؛ اذ تحصل العينات المجلخة والعينات المخروطة خراطة خشنة على حدود كلال متساوية عمليا بعد عملية الصقل.

كما يتم التوصل الى زيادة كبيرة فى المتانة عند صقل الاجزاء بالاسطوانات او الكريات بعد تعرضها لتأثير التآكل بالصدأ.

ويتم التوصل الى التأثير الايجابى لعمليتى الصقل بالمقذوفات والصقل بالاسطوانات فقط فى تلك الحالات التى تجرى فيها هذه العمليات بطريقة سليمة. اذ ان الاخراط فى التقسية على البارد تؤدى الى انخفاض حد الاطاقة ، المشروط بظهور شروخ دقيقة فى الطبقات السطحية نتيجة للضغط العالى.

وعملية الصقل الايدرولى (معالجة اسطح التشغيل فى اجزاء الماكينات بواسطة نافورات السوائل تحت ضغط عال) ، تسمح بتكوين طبقة مصلدة بعمق يصل الى ٥ر١ مم؛ وهى فى نفس الوقت تحسن التركيب الهندسى الدقيق للسطح. ويرتفع تحمل اجزاء الماكينات للكلال بنسبة ٢٥ ٪ .

وتضمن التقسية بواسطة التسخين بالتيار ذى التردد العالى تخفيضا ملموسا من حساسية المادة بالنسبة لتركيز الاجهادات. وتبعا لنوع الصلب، يزيد حد الاطاقة للعينات الملساء بنسبة ٤٠ ٪ الى ١٠٠ ٪ بالمقارنة بالحالة الابتدائية. وتجب زيادة متانة كل سطح التشغيل فى الجزء حيث ان مكان الانتقال من الجزء التى ازيدت متانته الى الجزء التى لم تصبه زيادة المتانة يصبح نقطة ضعف.

وتساعد عملية السمنتة مع التقسية على حدوث زيادة ملموسة فى متانة الكلال لاجزاء الماكينات (بمقدار ٥ر١ - ٢ مرة).

اما النتردة ، فتوفر زيادة متانة العينات الملساء بنسبة تصل الى ٣٠ ٪ مع وجود مركزات للاجهادات ، اما فى حالات عمل اجزاء الماكينات فى وسط يساعد على حدوث التآكل بالصدأ فتبلغ هذه الزيادة فى متانة الكلال نسبة ٦٠ ٪ .

كما تساعد التغشية السطحية بالسيانيد ايضا على زيادة متانة الكلال لأجزاء الماكينات (وخصوصا بالنسبة للعجلات المسننة والاسطوانات وغيرها) التى تحتاج لزيادة متانة سطوحها بعمق قليل . وعند مضاعفة عمق طبقة زيادة المتانة يرتفع فى البداية حد الكلال ثم يستقر.

ان زيادة متانة الكلال التى يتم التوصل اليها عن طريق بعض انواع عمليات زيادة المتانة (النتردة والسمنتة وغيرهما) يصاحبها تغير بعض الخواص الاخرى للمادة ، مثل انخفاض الصلابة (مقاومة الصدمات) ولذلك يجب عند اختيار طريقة زيادة المتانة، مراعاة مجموع تغيرات الخواص الميكانيكية للمادة التى تحدثها هذه الطرائق.

ويتوقع مستقبل باهر لاستخدام الطرائق المركبة زيادة المتانة المجمعة، تلك الطرائق التى تجمع بين التأثيرات الايجابية للمعاملات الحرارية، والحرارية الكيماوية وما يتبعها من زيادة الصلادة على البارد .

وعند حساب تأثير حالة الطبقات السطحية لأجزاء الماكينات يؤخذ بنظر الاعتبار معامل حالة السطح ، الذى يساوى النسبة بين حد الاطاقة للعينات ذات الطبقة السطحية المماثلة للجزء موضع التصميم، وبين حد الاطاقة لمثل

هذه العينات ذات الاسطح المجلخة .

ولا توجد فى الوقت الحاضر توصيات بالنسبة لاختيار قيم تلك المعاملات؛ اذ تحوى المراجع العلمية معاملات تستخدم فى حالات خاصة وتأخذ فى اعتبارها تأثير نوعية السطح (نقاوة السطح اعتمادا على نوع التشغيل الميكانيكى) k^s_σ وزيادة المتانة عند استخدام وسائل التكنولوجية لزيادة المتانة β .

ويمكن اعتبار المعامل k^s_σ كمعامل لتركيز الاجهادات الناشئ بسبب الشكل الهندسى الدقيق للسطح؛ وعند أخذ هذا المعامل فى الاعتبار يجب مراعاة الارشادات الواردة بشأن حالات التأثير المشترك لعدة مركزات اجهادات (stress concentration points).

ويعتبر معامل زيادة متانة السطح β النسبة بين حد الاطاقة للعينات (الاجزاء) التى تعرضت لزيادة متانة سطوحها ، وبين حد الاطاقة لمثل تلك العينات (الاجزاء) المماثلة فى ابعادها وشكلها بدون زيادة متانة سطوحها .

والمعامل β مثله مثل المعاملين k_σ و ε_σ يتعلق فقط بسعة الدورة.

وبأخذ الصيغة (2.11) فى الاعتبار، يكون فى بعض الاحيان تقدير التأثير المشترك لتركيز الاجهادات والابعاد المطلقة وحالة السطح فى الحسابات بالمعامل .

$$(k_\sigma)_D = \frac{k_\sigma}{\varepsilon_\sigma \beta} \tag{2.13}$$

تأثير الوسط المحيط على متانة الكلال لأجزاء الماكينات: يبدى الوسط المحيط الذى يعمل فيه الجزء ، تأثيرا كبيرا على الاطاقة. وتأثير الوسط مع وجود الاجهادات المتغيرة يظهر من كلال الامتزاز والتآكل بالصدأ للمعادن .

كلال الامتزاز هو انخفاض الاطاقة فى اجزاء الماكينات الذى يحدث فى السطوح النشطة (التى لا تؤثر كيميائيا على المعدن) للأوساط . وتدخل فى عداد تلك الاوساط الزيوت المستخدمة فى العادة لتزييت الأجزاء عندما تكون تلك الزيوت غير سابقة التنشيط ، وهى تؤدى الى تخفيض متانة الكلال بنسبة ١٥ ٪ - ٢٠ ٪ .

ومنحنى الكلال الحاصل من نتائج اختبارات على الامتزاز مماثل للمنحنى الاعتيادى فى طابعه.

وكلال التآكل بالصدأ يعتبر عملية اكثر خطورة وهو انخفاض الاطاقة لاجزاء الماكينات الذى يحدث فى الاوساط المسببة للصدأ والتآكل (تلك الاوساط التى تؤثر كيميائية على المعدن) . ونتيجة لكلال التآكل بالصدأ تنكسر او تتحطم قبل الاوان أمشاط الاعمدة وريش التوربينات ودافعات (قضبان) الديزلات وغيرها من الاجزاء. ويمكن ان يكون انخفاض متانة الكلال كبيرا . فان الاطاقة لأنواع الصلب الانشائى العادى ينخفض، على سبيل المثال ، فى الماء العذب الى النصف وفى ماء البحر الى الربع

بالمقارنة بحد الاطاقة في الهواء .

وعند اجراء اختبارات كلال التآكل بالصدأ ، يكتسب منحنى الكلال شكلا مميزا : فمع زيادة عدد الدورات ينخفض المنحنى باستمرار ، وبناء عليه يمكن فقط لهذه العمليات تعيين حدود معينة لحد الاطاقة.

ان التصلد الموجه (التشويه اللدن للمصنوعة الجاهزة بواسطة تحميل يتفق في اتجاه تأثيره مع التحميل عند التشغيل) ، والدلفنة بالاسطوانات والقذف بتيار من الكريات، والتقسية السطحية والنتردة وغيرها من وسائل زيادة المتانة، التي تخلق في الطبقات السطحية اجهادات ضغط، تساعد كلها على زيادة الطاقة أجزاء الماكينات، عندما تعمل تلك الاجزاء في اوساط مساعدة على تفاقم العمليات المشار اليها .

تأثير أنظمة التحميل : لا يعتبر نظام تحميل العينات القياسية المنفذ على ماكينات الاختبار العادية بهدف رسم منحنيات الكلال ، نمطيا بالنسبة لظروف تشغيل (استخدام) أجزاء الماكينات. اذ ان كل نقطة على المنحنى يتم الحصول عليها معمليا (من خلال التجارب) ، توصف متانة العينة عند تحميلها بشكل مستمر بحمل ثابت في قيمته ، اما طابع منحنى الجيب لتغير الاجهادات الناتجة في مقطع العينة فمشروط بحنى العينة اثناء تدويرها بعدد دورات ثابت n = const .

وفي الظروف الحقيقية يكون كل من الحمل المؤثر، وعدد الدورات (سرعة الدوران) مقادير متغيرة في الغالب، اما عملية التشغيل فتكون متقطعة. ويسمى نظام التحميل هذا نظاما غير ثابت . وأجزاء ماكينات النقل (السيارات، وماكينات الرفع والنقل وغيرها) ، ومحركات الاحتراق الداخلي والماكينات الزراعية وماكينات تشغيل المعادن وغيرها من الماكينات تعمل في انظمة تحميل غير ثابتة.

ويتعين نظام التحميل بما يسمى بالتوزيع الطيفي للأحمال - أى حاصل جمع كل احمال التشغيل ؛ وهو يتصف أ) بوجود التحميل الزائد والتحميل الناقص ؛ ب) التغير الكثير في الاجهادات ؛ ج) تقطع تأثير الاحمال . والتصورات الحديثة عن تأثير هذه العوامل هي كالتالي بملامحها العامة :

التحميل الزائد : يفهم منه تحميل الجزء بحمل تحدث فيه خلال عدد معين من الدورات اجهادات متغيرة تزيد عن حد الاطاقة المناسب، كما يفهم من التحميل الناقص أنه التحميل الذى يحدث اجهادات متغيرة تقل عن حد الاطاقة.

والتحميل الزائد الى درجة كبيرة يقلل من متانة الكلال في المعدن موضع الاختبار، وهو ما يجب تفسيره بظهور شروخ دقيقة وتفاقمها الشديد عند تأثير الاجهادات العالية. اما في حالة التحميل الزائد قليلا (الزيادة الضئيلة في الاجهادات التي تؤثر خلال عدد قليل من الدورات) فان حد الاطاقة لا ينخفض ؛ بل وقد يلاحظ احيانا ارتفاع ما في قيمته .

والتحميل الناقص في حدود معينة يساعد على الزيادة الكبيرة في حد الاطاقة (بما يصل الى ٣٠ ٪) . وهذه الطاهرة-تدريب المادة كثيرا ما

تستخدم فى الصناعة (مثلا عند التشغيل الاول للماكينات)، على الرغم من انها لم تجد بعد تقييما كميا لها فى الحسابات.

ومن الناحية العملية، لا يعتمد حد الاطاقة للعينات الملساء او الاجزاء ذات تركيز الاجهادات غير الكبير، على سرعة تغير الاجهادات بالترددات المستخدمة فى الغالب فى بناء الماكينات الحديثة. وعند الترددات التى تزيد عن ٦٠٠٠٠ دورة فى الدقيقة يلاحظ بعض الارتفاع فى حد الاطاقة.

وكما أظهرت التجارب، فانه عند التحميل الزائد (الاجهاد الزائد)، يكون لتغيير تردد الاجهادات المتغيرة تأثير ملموس على متانة الكلال. وذلك من حدود الترددات التى تم بموجبها اجراء التجارب والتى تتراوح بين ٣٤٠ و ٣٠٠٠ دورة فى الدقيقة.

والبحوث العلمية المتعلقة بتأثير فترات التوقف عن العمل، قليلة، أما النتائج التى تم الحصول عليها فليست متوافقة باستمرار. الا انه هناك أساس فى الاعتقاد ان فترات الراحة تزيد بعض الشئ من العمر (امد العمل) الدورى.

ويستند تأثير نظام التحميل على الاعتبارات التالية:

نفرض ان الاحمال $Q_1, Q_2, \ldots, Q_i, \ldots$ (او الاجهادات $\sigma_1, \sigma_2, \ldots, \sigma_i$) تبدى تأثيرها عند دورات التحميل المناظرة ($n_{cyc\ 1}, n_{cyc\ 2}, \ldots, n_{cyc\ i}, \ldots$).

ويفهم من النسبة الدورية انها النسبة بين العدد الحقيقى للدورات $n_{cyc\ i}$ التى يؤثر اثناءها اجهاد ما σ_i، وبين عدد الدورات $N_{cyc\ i}$ لنفس الاجهاد والتى عندها تتحطم العينة أى العمل الدورى.

ووفقا لغرض الخاص بجمع الأعطاب الكلالية، فان تأثير كل مجموعة من الاحمال لا يعتمد على نظام تتابعها، وان النسب الدورية المتساوية لقيم التحميل الزائد المختلفة تؤدى الى درجة متساوية من الاعطاب الكلالية.

وفى افتراض التراكم الخطى للاعطاب الكلالية يكون:

$$\Sigma \frac{n_{cyc\ i}}{N_{cyc\ i}} = a, \tag{2.14}$$

حيث a - معامل يحدد تجريبيا، وكثيرا ما يؤخذ مساويا للواحد الصحيح.

ومع اعتبار القيم السابقة، تأخذ معادلة منحنى الاطاقة الشكل الآتى:

$$\sigma_i^m N_{cyc\ i} = \sigma_R^m N_0 = \text{const} \tag{2.15}$$

حيث m - مؤشر أس المنحنى، ويؤخذ فى المعتاد $(m = 6 - 9)$، وهو يعتمد أساسا على المادة وحالة اجهاد الجزء؛

σ_R - حد الاطاقة الطويل الامد الذى يتم تعيينه عند العدد القاعدى (الاسنادى) من الدورات N_0.

وبأخذ كل ما سبق فى الاعتبار، فان النظام المتغير الحقيقى للاحمال المؤثرة لمدة طويلة يستبدل بنظام ثابت مكافئ (بالنسبة للتأثير الكلالى).

ويؤخذ أحد الاحمال المؤثرة Q_i (وغالبا ما يكون Q_{max})، أو

الاجهاد الناتج عند $\sigma_i(\sigma_{max})$ ،كحمل (اجهاد) ثابت، يؤثر على مدى العدد المكافئ للدورات N_{eq} ،المناسب لمستوى التحميل . وعندما نفترض مثلا أن الاجهاد يساوى σ_{max} وعلى اساس المعادلتين (2.14) ، و (2.15) وبأخذ $a = 1$ نجد أن

$$\Sigma \sigma_i^m n_{cyc\ i} = \sigma_R^m N_0 = \sigma_{max}^m N_{eq}$$

ومن هنا

$$N_{eq} = \Sigma \left(\frac{\sigma_i}{\sigma_{max}}\right)^m n_{cyc\ i} \tag{2.16}$$

و

$$\sigma_{max} = \sigma_R \sqrt[m]{\frac{N_0}{N_{eq}}} = \sigma_R \sqrt[m]{\frac{N_0}{\Sigma\left(\frac{\sigma_i}{\sigma_{max}}\right)^m n_{cyc\ i}}} = \sigma_R k_{load} \tag{2.17}$$

حيث : $k_{load} = \sqrt[m]{\frac{N_0}{\Sigma\left(\frac{\sigma_i}{\sigma_{max}}\right)^m n_{cyc\ i}}}$ - وهو معامل نظام التحميل .

ومن الصيغة (2.17) ،عندما يكون عدد الدورات المكافئ N_{eq} أقل من العدد القاعدى N_0 ، يمكن ان يزيد الاجهاد σ_{max} عن حد الاطاقة الطويل الامد σ_R .

وبأخذ العلاقة بين الاجهادات والاحمال فى الاعتبار (تبعا لحالة الاجهاد) ، يمكن ان يأخذ المعامل k_{load} فى العلاقة (2.17) الشكل التالى :

$$k_{load} = \sqrt[m']{\frac{N_0}{\Sigma\left(\frac{Q_i}{Q_{max}}\right)^{m'} n_{cyc\ i}}}$$

وفى حالة الثنى الدائرى تكون $m' = m$.

وفى الحل الآخر للتحويل ، يستبدل النظام المتغير بنظام المستوى الثابت للتحميل Q_{eq} (او σ_{eq}) ،المؤثر خلال الفترة المعطاة للخدمة، التى تتحدد بمجموع عدد الدورات $\Sigma n_{cyc\ i}$ او بعدد الدورات N_0 المناظر لنقطة الانكسار فى منحنى الاطاقة.

وتبعا لما ورد أعلاه فان $\Sigma \sigma_i^m n_{cyc\ i} = \sigma_{eq}^m N_0$ وتأخذ صيغ التحويل فى المعتاد الشكل التالى :

$$\sigma_{eq} = \sigma_{max} \sqrt[m]{\Sigma\left(\frac{\sigma_i}{\sigma_{max}}\right)^m \frac{n_{cyc\ i}}{N_0}} = \sigma_{max} k_{lon}^{\sigma} \tag{2.18}$$

او

$$Q_{eq} = Q_{max}\sqrt[m']{\Sigma\left(\frac{Q_i}{Q_{max}}\right)^{m'} \frac{n_{cyc\ i}}{N_0}} = Q_{max}k^{\sigma}_{lon} \tag{2.19}$$

وقيم معاملات العمر k^{σ}_{lon} تنحصر فى الحدود

$$0,6 \leqslant k^{\sigma}_{lon} \leqslant 1,$$

حيث k^{σ}_{lon} - هو معامل العمر بالنسبة للاجهادات العمودية. وعند اجراء الحسابات بالنسبة لاجهادات القص يمكن الحصول على قيمة المعامل k^{τ}_{lon} من الصيغة (2.18) وذلك باستبدال σ ب τ .

حساب المتانة فى حالة الاجهادات المتغيرة : حيث أنه يلزم لتقييم الاطاقة لأجزاء الماكينات، اعتبار أشكالها النهائية، وحالة سطوحها وغيرهما من العوامل ، فان الحسابات المعنية تجرى كحسابات للمراجعة.

فى حالة الاجهاد الاحادى (الشد ، الضغط ، والثنى الخالص، والثنى المقطعى ، اذا ما اهملنا اجهادات القص الناتجة فى المقاطع العمودية) يحدد معامل الامان الحسابى n بمساعدة الرسوم التخطيطية للاجهادات الحدية * .

وفى حالة التحميل البسيط ، عندما يفترض أنه مع تأثير الحمل يتغير كل من σ_m الاجهاد المتوسط للدورة ، وسعة الدورة σ_a فى تناسب طردى أى أن $\frac{\sigma_a}{\sigma_m} = \text{const}$ يصبح المعامل الحسابى للأمان

$$n_{\sigma} = \frac{\sigma_{-1}}{\frac{k_{\sigma}}{\beta\varepsilon}\sigma_a + \Psi_{\sigma}\sigma_m} = \frac{\sigma_{-1}}{(k_{\sigma})_D\sigma_a + \Psi_{\sigma}\sigma_m} \tag{2.20}$$

حيث σ_{-1} - حد الاطاقة للمادة عند الدورة المتجانسة ،

k_{σ} - المعامل الحقيقى لتركيز الاجهادات ،

ε - معامل تأثير الابعاد المطلقة (" معامل المقياس" scale factor) ،

β - معامل زيادة متانة الطبقات السطحية ،

σ_a - الجزء المتغير من الاجهادات (سعة الدورة) ،

σ_m - الجزء الثابت (المتوسط) من الاجهادات ،

$\Psi_{\sigma} = \frac{2\sigma_{-1} - \sigma_0}{\sigma_0}$ - معامل حساسية المادة لعدم تماثل الدورة ،

σ_0 - حد الاطاقة فى حالة الدورات النبضية .

وفى حالة اللى الدورى تجرى حسابات المتانة حسب صيغة مماثلة باستبدال σ ب τ :

$$n_{\tau} = \frac{\tau_{-1}}{\frac{k_{\tau}}{\beta\varepsilon}\tau_a + \Psi_{\tau}\tau_m} = \frac{\tau_{-1}}{(k_{\tau})_D\tau_a + \Psi_{\tau}\tau_m} \tag{2.21}$$

---

* استنتاج الصيغتين (2.20) و (2.24) موجود فى مقررات " مقاومة المواد " .

وفى الحالات عندما يمكن ان يسبق التحطم الكلالى تشويه متخلف بمقدار كبير، يتحدد المعامل الحسابى للامان الخاص بمقاومة التشوهات اللدنة ، من الصيغة

$$n_\sigma = \frac{\sigma_y}{\sigma_{max}} = \frac{\sigma_y}{\sigma'_m + \sigma_a} \qquad (2.22)$$

حيث σ_y - حد الخضوع للمادة .

وعند التحميل المركب، يتغير كل من σ_m و σ_a دون تبعية أحدهما للآخر. وللاحوال التى تتغير فيها σ_a مع ثبات الاجهاد المتوسط σ_m ، يساوى المعامل الحسابى للامان

$$n_\sigma = \frac{\sigma_{-1}\left(1 - \frac{\sigma_m}{\sigma_u}\right)}{\sigma_a} \qquad (2.23)$$

حيث σ_u - حد متانة المادة .

وفى حالة الاجهادات المركبة على محورين ،التى تظهر ،مثلا ، اثناء عمل الجزء مع تعريضه للثنى واللى ،أو الشد - الضغط واللى ، يكون المعامل الحسابى للامان فى المقطع الحسابى :

$$n = \frac{n_\sigma n_\tau}{\sqrt{n_\sigma^2 + n_\tau^2}} \qquad (2.24)$$

حيث n_σ ، n_τ هما المعاملان المحسوبان من الصيغتين (2.20) و (2.21) .

وفى الحالات الحسابية التى اوردناها يأخذ شرط المتانة (2.2) الشكل التالى

$$n_\sigma \geqslant [n_\sigma]; \quad n_\tau \geqslant [n_\tau]; \quad n \geqslant [n] \qquad (2.25)$$

<u>اختيار معاملات الأمان والاجهادات المسموح بها</u> . يحدد الشرط (2.2) العلاقة بين قيمتى معامل الامان الحسابى n والمسموح به $[n]$. وتبعا لذلك تعتمد على اختيار القيمتين الاخيرتين درجة صحة تصميم الجزء. والاختيار القائم على غير أساس لهذه القيم قد يؤدى فى حالة المغالاة فيها الى تصميم غير اقتصادى أما فى حالة خفضها فالى تصميم غير متين بالدرجة الكافية .

وتعتبر طريقة المعدلات أقدم طرائق تحديد الاجهادات المسموح بها. فكانت الاجهادات المسموح بها فى المراحل المبكرة من تطور بناء الماكينات تختار وفق جداول موحدة بالنسبة لكل فروع بناء الماكينات .

ومع تطور بناء الماكينات ظهرت بشدة متزايدة عيوب طريقة المعدلات. وبسبب ظهور فروع جديدة فى بناء الماكينات وتعقد أنظمة التحميل فى الماكينات وأجزائها ، والزيادة المطردة فى أنواع المواد المستخدمة، وضرورة الاخذ فى الاعتبار للعوامل التكنولوجية وعوامل التشغيل وغيرها فى مختلف فروع بناء الماكينات ، ظهرت جداول مخصصة للاجهادات المسموح بها ومعدلات معاملات الامان.

وتستخدم هذه الجداول والمعدلات بتوسع فى الوقت الحاضر أيضا . وفى بعض الحالات، تنظم بدقة معاملات الامان والاجهادات المسموح بها ،علما بأنه ، ولهذا أهمية كبرى ، يتم بيان طريقة .الحساب التى تحددت بها القيمة الحسابية لمعامل الامان . فمثلا عند تصميم الاجزاء والآليات الخاصة بماكينات رفع الاحمال (الحبال والخطافات والغرامل .. الخ) ، تنظم معاملات الامان وطرائق الحساب فى الوقت الحاضر حسب القواعد التى تضعها هيئات الرقابة الفنية للدولة.

الا أنه فى غالبية الحالات لا تكون بحوزة المصمم تلك المعدلات المقننة ويكون عليه أن يحدد بنفسه معاملات الامان والاجهادات المسموح بها .

ولهذا السبب ظهر فى بداية الثلاثينيات اتجاه للتخلى عن طرائق استخدام الجداول ، والانتقال الى الطريقة التحليلية بهدف الاختيار القائم على اساس لمعاملات الامان .

ولقد طرح لأول مرة أ. سيدوروف (١٨٦٦ - ١٩٣١) فكرة ضرورة التحديد التفاضلى لمعامل الامان . ولقد درس هذه الطريقة بشكل أكمل ، ا. اودينج (١٨٩٦ - ١٩٦٤) ، ونشرت الطريقة لأول مرة فى عام ١٩٣٢ . ومعامل الامان $[n]$ لحساب المتانة الحجمية يمكن تحديده كحاصل ضرب:

$$[n] = S_1 S_2 K_1 \tag{2.26}$$

حيث S_1 - معامل تدخل فى اعتباره كفاءة (التجانس فى خواصه الميكانيكية ووجود العيوب الداخلية) ؛

S_2 - معامل تدخل فى اعتباره درجة اهمية الجزء (حسب ظروف عمله) ؛

K_1 - معامل تدخل فى اعتباره دقة الحساب .

والمعامل S_1 مع استقرار العملية التكنولوجية لتصنيع الجزء ، يجب تقديره استنادا لمعالجة نتائج الاختبارات العديدة. وكمعطيات ارشادية يمكن بالنسبة للاجزاء المصنوعة من المطروقات والمدلفنات أخذ المعامل S_1 = ٥ر١٠ ÷ ١٠ر١ ، وللأجزاء المسبوكة S_1 = ١٥ر١ ÷ ٢ر١ .

ولقد أعطيت تلك القيم العددية المقترحة مع افتراض ان المواد المطروقة يمكن أن تكتشف فيها فقط تلك العيوب التى تخفض من المتانة لاكثر من ٥ - ١٠ ٪ ،أما فى المعادن المسبوكة فيمكن الا تلاحظ تلك العيوب التى تخفض متانة الاجزاء لأقل من ١٥ - ٢٠ ٪ .

والمعامل S_2 المستخدم فى تقييم أهمية الجزء فى الاستخدام فمن البديهى أن يكون حسابه غير ممكن ولهذا السبب فأن قيمته يجب ان تخضع للتنظيم . وحسب معطيات أودينج فان S_2 = ٠ر١ ÷ ٣ر١ .

وحيث أن أجزاء الماكينات تحسب على المتانة وفق الرسوم التخطيطية الحسابية التى لا تعكس تماما الظروف الحقيقية لعملها ،لذا يدخل فى الصيغة (2.26) المعامل K_1 الذى يأخذ فى الاعتبار درجة الدقة فى الحساب والذى لا يزال من الصعب تنظيم مقداره . ومع استخدام الطرائق التجريبية فى دراسة تحميل الاجزاء ، يمكن تدقيق معرفة دور العوامل

المؤثرة على قيمة المعامل K_1 . وفى المتوسط يمكن اتخاذ K_1 = ٢ر١÷٣ر١ .
وهكذا ،اذا ما أخذنا القيم التى اقترحها أودينج لهذه المعامـلات، فان معامل الامان للأجزاء المصنوعة من الصلب

$$[n] = S_1 S_2 K_1 = 1.10 \times 1.30 \times 1.30 \approx 2.0$$

وعند التقييم الأدق لظروف العمل ، وطابع الاحمال الخارجية، وكذلك فى تلك الاحوال ، عندما تكون المواصفات الميكانيكية للمادة والاجهادات المؤثرة معلومة بدرجة موثوق بها ، يمكن تخفيض معاملات الامان حتى القيم فى حدود ٢ر١ ÷ ٥ر١ . وبالعكس تؤخذ قيمة المعامل $[n]$ اكبر من ٠ر٢ فـــى الحسابات التقريبية.

واذا ما تم تقييم المتانة بالشرط (2.1) ،تحدد القيمة الحسابية او التنظيمية للمعامل $[n]$ بواسطة الاجهادات المسموح بها (حد متانـة الكلال) المعينة بأخذ نظام التحميل ، وعمر الخدمة وغيرهما من العوامـل المؤثرة عليها فى الاعتبار.

متانة السطوح : تتقيد مقدرة الكثير من الاجزاء على العمل نتيجة عدم كفاية متانة اسطح التشغيل فيها .

تشوهات السحق واجهاداته فى حالة الاحمال الاستاتيكية . يتميز طابع تلامس بعض اجزاء الماكينات بأن الاحمال التى تنقلها عن طريق أسطحها المحدودة (الصغيرة) ، تسبب فى منطقة التلامس اجهادات سحق عاليـة (العجلات المسننة والاحتكاكية وكراسى محاور التدحرج وغيرها) . ونظـريا يعتبر التلامس بين الحلقات وأجسام التدحرج فى كراسى المحاور الكرويـة قبل التحميل هو تلامس فى نقطة ،أما بالنسبة للعجلات المسننة وكراسـى المحاور الاسطوانية ـ ففى خط . وتحت تأثير الحمل يتغير طابع التلامـس عن الواردة أعلاه ـ اذ يتم التلامس فى اسطح محدودة المساحة.

ان أول حل لمسألة حالة الاجهاد فى منطقة تلامس الاجسام المرنـة، تلك المسألة التى تسمى بمسألة التلامس قد أعطاه ج . هيرتس (١٨٥٧ - - ١٨٩٤) فى عام ١٨٨٢ .

ولقد عمل كل من أ . دينيك (١٨٧٦ - ١٩٥٠) ، ون . بيلايف (١٨٩٠- - ١٩٤٤) ، وا . شتايرمان ، وم . سافيرين وغيرهم من الباحثين ،على تطويـر هذا الحل بما يتجاوب والمسائل الهندسية.

وحل مسألة التلامس وارد فى مناهج نظرية المرونة.

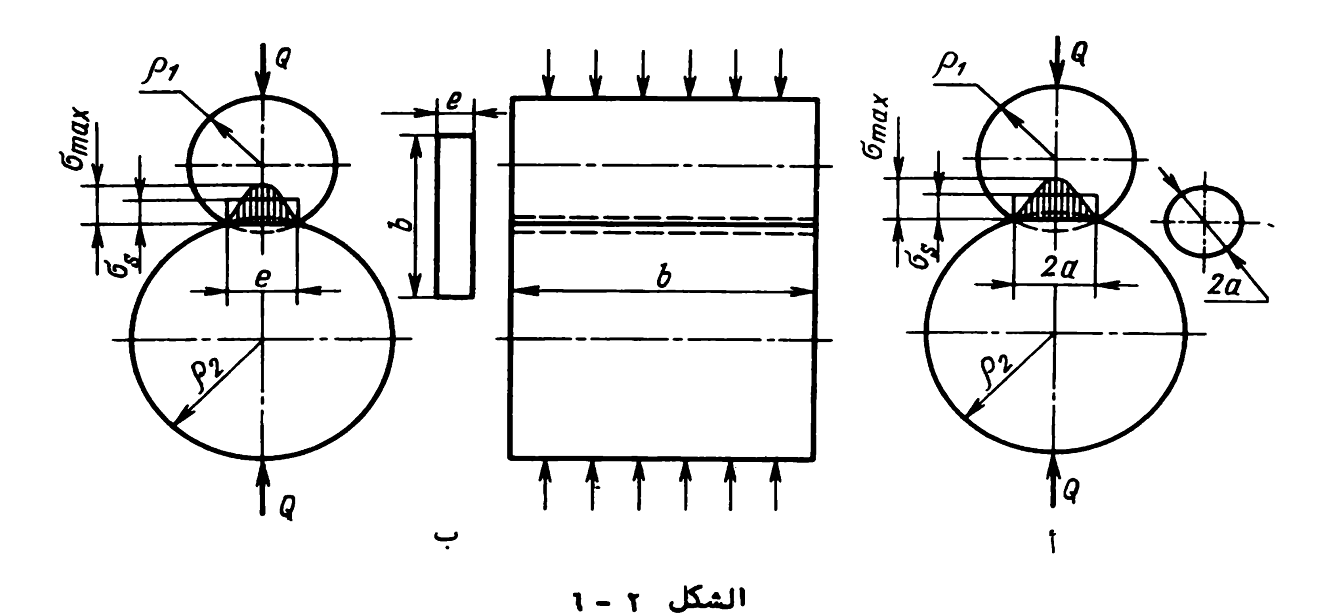
والمقدمات التالية تدخل فى أساس حل مسألة التلامس :

١) المواد المصنوعة منها الاجسام المتلامسة، متجانسة ومتساوية الخواص؛
٢) مساحة التلامس صغيرة جدا بالمقارنة مع مساحات الاجسام المتلامسة؛
٣)الاجهادات المؤثرة موجهة عموديا على سطحى التلامس ؛
٤) الأحمال المسلطة على الاجسام تعمل على توليد تشوهات مرنة فقط فى منطقة التلامس تخضع لقانون هوك .

وفى التصميمات الحقيقية لا تراعى كل هذه المقدمات. فمثلا الشـــرط

الثالث لا يراعى فى حالة التعشيق بين أسنان التروس ، وفى كراسى محاور التدحرج .. الخ . فهناك تؤثر بجانب الضغوط (القوى) العمودية، قوى مماسية ـ قوة الاحتكاك، ونتيجة لذلك فان محصلة هاتين القوتين تميل عن الاتجاه العمودى على سطح التماس. الا ان المراجعة التجريبية لنظرية تشوهات التماس (السحق) تؤيد تماما صلاحيتها للاستخدام كرسم تخطيطى حسابى رشيد . والحلول الواردة أعلاه لا تعطى قيما مطلقة للاجهادات، بل مجرد قيم افتراضية تحتاج من أجل حل مسألة صلاحية هذه القيم ، الى مقارنتها مع المعطيات المأخوذة من الحسابات الاختبارية للأجزاء العاملة بشكل مرض فى ظروف مماثلة.

ويؤخذ محيط سطح التماس فى المقدمات المعمول بها على أنه قطع ناقص فى الحالة العامة. أما فى الاحوال الخاصة، فتتحول مساحة سطح التماس اما الى مساحة دائرية أو شريطية يحدها خطان متوازيان.



الشكل ٢ - ٦

عند ضغط كرتين نصف قطر كل منهما ρ_1 ، ρ_2 (شكل ٢ - ٦ ، أ) بقوتين Q ، تتكون نتيجة للتشوهات الموضعية المرنة، مساحة للتماس، يكون محيطها على شكل دائرى. ويحدد نصف القطر a لهذه المساحة مع أخذ معامل باوسون μ = ٠٫٣ ، من الصيغة التالية

$$a = 1.109 \sqrt[3]{\frac{Q\rho}{E}} \text{ cm} \tag{2.27}$$

حيث E ـ معامل المرونة المكافئ لمادتى الجسمين المضغوطين كجم/سم^٢ :

$$E = \frac{2E_1E_2}{E_1 + E_2} \text{ kgf/cm}^2 ;$$

ρ ـ نصف قطر التقوس المكافئ فى منطقة التلامس بين الجسمين المضغوطين بالسنتيمترات

$$\rho = \frac{\rho_1 \rho_2}{\rho_2 \pm \rho_1}$$

وتؤخذ الاشارة السالبة فى حالة تلامس سطح محدب نصف قطره ρ_1 مـــع سطح مقعر بنصف قطر ρ_2 .

والضغط على هذه المساحة موزع توزيعا غير منتظم وأعلى ضغط يؤثـــر فى مركز مساحة التلامس يزيد بمقدار ١٫٥ مرة عن الضغط المتوسط :

$$p_{max} = \frac{1.5Q}{\pi a^2} \tag{2.28}$$

ومن تحليل حالة الاجهادات فى النقط المميزة فى حالة المساحـــــة الدائرية للتماس ،نرى أن اكبر اجهادات الضغط σ_3 يؤثر فى مركز المساحة، علما بأن $\sigma_3 = -p_{max}$.

ومن المعادلتين (2.27) ، (2.28) نحصل على

$$\sigma_{max} = 0.388 \sqrt[3]{\frac{QE^2}{\rho^2}} \text{ kgf/cm}^2 \tag{2.29}$$

ومن الصيغة (2.29) نجد أن الاجهاد يزيد لا بالتناسب الطردى مع الحمل Q ، ولكن بدرجة اقل كثيرا .

وفى حالة تماس كرة قطرها $d_1 = 2\rho_1$ مع مستوى $\rho = \rho_1$

$$\sigma_{max} = 0.388 \sqrt[3]{\frac{QE^2}{\rho^2}} = 0.62 \sqrt[3]{\frac{QE^2}{d_1^2}} \text{ kgf/cm}^2$$

وفى حالة ضغط اسطوانتين بمحورين متوازيين (شكل ٢ - ٦ ،ب)،تأخذ مساحة التماس شكل شريط ضيق يحده خطان متوازيان، وعرضه e يتحدد من الصيغة

$$e = 3.04 \sqrt{q \frac{\rho}{E}} \text{ cm}$$

حيث $q = \frac{Q}{b}$ ـ الحمل المسلط على وحدة طول الاسطوانتين مع افتراض أن الحمل موزع على الطول b بانتظام ، كجم/سم .

واكبر الضغوط يحدث فى نقط الخط المتوسط فى شريط التماس ؛ اذ يزيد بمقدار $\frac{4}{\pi}$ مرة عن الضغط المتوسط :

$$p_{max} = \frac{4}{\pi} \cdot \frac{q}{e} = 0.418 \sqrt{\frac{qE}{\rho}}$$

وبناء عليه ، فان :

$$\sigma_{max} = 0.418 \sqrt{\frac{QE}{b\rho}} = 0.418 \sqrt{\frac{qE}{\rho}} \text{ kgf/cm}^2 \tag{2.30}$$

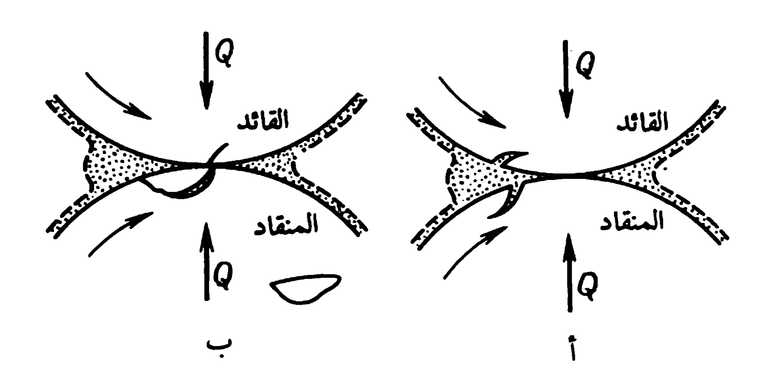
وأكبر اجهاد تماس يظهر تحت سطح مساحة التماس ؛ وبالنسبة للصلب فان هذا الاجهاد يظهر فى كل أنواع التماس $\tau_{max} \approx 0.3\sigma_{max}$. وفـــى

حالة المساحة الدائرية للتماس يؤثر الاجهاد τ_{max} على عمق حوالى $0.5a$ ، واذا ما كانت مساحة التماس على شكل شريط يحدده خطان متوازيـــان فيؤثر τ_{max} على عمق $0.4e$.

متانة اسطح التشغيل عند تأثير اجهادات السحق المتغيرة. ان ظروف تحميل أسطح التشغيل المتماسة، موضع البحث فى منهج أجزاء الماكينات ، أثناء الازاحة النسبية (التدحرج) بين هذه الاسطح ، تختلف عن ظروف التحميل فى الحالات التى استنتجت لها الصيغ (2.30) – (2.28) . وبسبب الازاحة المستمرة لمنطقة التماس، يعتبر التحميل دوريا ، وبناء عليه فان الاجهادات تكون متغيرة. وبهذا يتحدد طابع تفاقم الشروخ ،بالارتباط مع عدد دورات التحميل ،مما يكون الاساس فى اعتبار التحطم من هذا النوع من فئـــة التحطمات الكلالية.

ويصاحب تدحرج الاسطح المتماسة،كقاعدة عامة ،انزلاقها النسبى ،الذى يمكن ان يكون سببه التحميل الزائد (ويسمى هذا الانزلاق بالانـــزلاق العفوى) ، وشكل أسطح التماس (الانزلاق الهندسى) ، وطابع التشوهـــات الناتجة فى هذه الاسطح (الانزلاق المرن) . والانزلاق من النوع الاخيـر (انظر ص ١٩٥) يتبع تدحرج أسطح التماس المحملة من أى الاشكال .

وشروخ الكلال الناتجة على الاسطح المتماسة تحت تأثير قوى الاحتكاك (تبعا لاتجاهها) تأخذ اتجاهات متباينة لكل حالة . ويرتبط تفاقمهـــا اللاحق بوجود زيت تزييت فى منطقة التلامس (وهو ما يميز التعشيقـــات المسننة والتعشيقات الدودية وبعض التعشيقات الدودية غير المكشوفة، اى فى صناديق مغلقة، وكذلك كراسى محاور التدحرج وغيرها) ، حيث أن زيـت التزييت يتسرب من الشروخ الناجمة. ويعتبر ج . تروبين أن هذه العمليـة تتطور بالشكل التالى (شكل ٢ – ٧) . يتخذ الشرخ الموجود على السطح



الشكل ٢ – ٧

المتقدم (القائد) اتجاها بحيث يكون الطرف السطحى لهذا الشرخ اول من يقع فى منطقة الضغوط التلامسية الكبرى ، الامر الذى يؤدى الى خروج الزيت من الشرخ ،مما يعرقل نمو الاخير. أما الشرخ على السطح المتأخر (المقاد) فيتجه بحيث يدخل الشرخ بطرفه المفتوح القريب من السطـــح أولا فى منطقة أكبر ضغوط التماس (السحق) (شكل ٢ – ٧ ، أ) . وعندما

يتقابل طرفا الشرخ مع سطح التماس يتلاقى طرفاه ويرتفع بشدة ضغط طبقة الزيت الموجودة داخل الشرخ ؛ وهذا هو سبب التأثير الاسفين الذى يساعد على نمو الشرخ تدريجيا، الذى يعقبه خروج الشرخ الى السطح مرة اخرى (انشطار قطع صغيرة من المعدن شكل ٢ - ٧، ب). ولقد حصل مثل هذا النوع من تحطم أسطح التشغيل على تسمية تفتت السطوح.

وعند عدم وجود التزييت يتغير طابع تحطم الطبقات السطحية اذ لا تسبب الشروخ فى تكوين حفر، حيث ان الطبقة السطحية التى تتكون فيها الشروخ الابتدائية تمحى قبل أن تتحول الى حفر.

ويفهم من حد اطاقة السحق أنه أكبر اجهاد لا يسبب عنده عدد كبير من دورات الاجهادات تفتيتا. ويحدد حد اطاقة السحق على أساس المنحنيات التجريبية للاطاقة التى ترسم وفق محورى " الضغط النوعى الأقصى (أو الاجهاد النوعى الاقصى) المؤثر على مساحات التماس - عدد دورات الاجهادات ".

ومنحنيات اطاقة السحق تشبه منحنيات الاطاقة العادية. والعلاقة بين الاجهاد σ وعدد الدورات N للفرع الايسر من المنحنى لها نفس الشكل الخاص بالتجارب الكلالية الاعتيادية :

$$\sigma^m \cdot N = \text{const.}$$

وتؤثر على حد اطاقة السحق عدة عوامل : خواص التزييت، النسبة بين صلابة أسطح التشغيل المتماسة، نوعية تشغيلها (معالجتها) .. الخ.

ومع زيادة لزوجة زيت التزييت، يزيد حد اطاقة السحق. ويمكن تفسير هذه الظاهرة، كما هو واضح ،على أساس تأثير ازالة تحميل منطقة التماس عند وجود طبقة من الزيت فيها ؛ ومع زيادة لزوجة الزيت يظهر هذا التأثير بدرجة اكبر. اذ تقل مقدرة الزيت على التسرب الى شروخ الكلال المتكونة على السطح مع زيادة لزوجته ،مما يجب أيضا أن يساعد على زيادة حد اطاقة السحق . وزيادة الصلابة وتحسين نوعية معاملة (معالجة) أسطح التماس يساعدان على رفع مقاومتها للتفتت.

ولا يمكن اجراء حساب متانة التماس فى الوقت الحاضر على أساس اعتبار كل العوامل المؤثرة على عمليات التحطم. ولكن ، نظرا لكون ظهور الشروخ وتفاقمها يعتمدان على قيمة الاجهاد الاقصى فى حالة الضغط فى منطقة التماس، فان تحديد قيمته حسب المعطيات التى تفى بمتطلبات التصميمات العاملة، يمكن أن يتلافى تفاقم عملية التفتت السطحى كلها.

وعند حساب الاجزاء المصنوعة من المعادن ، وكذلك لحساب بعض مزدوجات التلامس المعدنية (مثل العجلة المسننة ذات السقاطة) ، تراجع المتانة السطحية حسب الشرط الذى يحدد الحمل النوعى ، أى الحمل المسلط على وحدة الاطوال فى خط (مساحة) التلامس :

$$q = \frac{Q}{b} \leqslant [q] \tag{2.31}$$

وفى الحالات التى يكون فيها نظام التحميل غير مستقر، فان النظام المتغير يستبدل ،على أساس الفروض التى استعرضناها أعلاه والخاصة بتجميع العمليات الكلالية ، بنظام مكافىء .

وعند حساب الاجزاء التى يحدث التماس بينها فى خط (مثل التعشيقة المسننة) ، فمع اعتبار أن اجهادات التماس على أساس الصيغة (2.30) تتناسب مع الجذر التربيعى للحمل ، تستخدم الصيغ المستنتجة (انظر ص ٣٤) عندما تكون $m' = \frac{m}{2} = 3$.

والمعطيات الخاصة بحدود اطاقة السحق الطويلة الامد للمواد σ_{sur} ، التى تحدد على أساسها اجهادات التماس المسموح بها ، موجودة بكميات قليلة فقط . لذلك تحدد قيم $[\sigma]_{sur}$ وفقا لمواصفات متانة المواد الاستاتيكية أو الكلالية.

وتسمح معالجة المعطيات التجريبية بتحديد العلاقة بين σ_{sur} وصلابة السطح ، تلك الصفة التى تؤثر اكبر تأثير على متانة الاطاقة لأسطح التشغيل :

$$\sigma_{sur} = G_B Bhn; \quad \sigma_{sur} = C_R Rc \tag{2.32}$$

حيث C_B ، C_R - معاملان يعتمدان على المادة ومعاملتها الحرارية ، Bhn و Rc - معاملا برينيل وروكويل للصلابة.

ويدخل فى الاعتبار تأثير العوامل الاخرى على اجهاد التماس المسموح به ، باستخدام معاملات للتصحيح k ، ترد قيمها فى الفصول المعنية من المنهج (للتعشيقة المسننة مثلا) . وهكذا تكون

$$[\sigma]_{sur} = \sigma_{sur} k$$

أما مع اعتبار تغير نظام التحميل فان

$$[\sigma]_{sur} = \sigma_{sur} k k_{load} \tag{2.33}$$

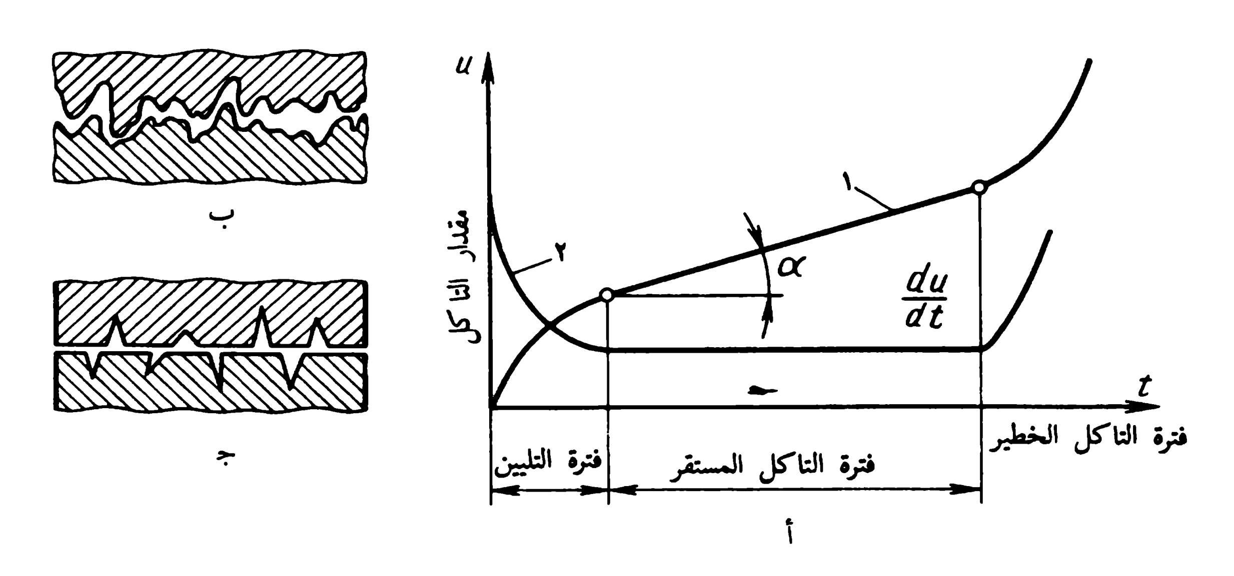
صمود أجزاء الماكينات للتآكل يتحدد عمر تشغيل الكثير من أجزاء الماكينات بتآكل اسطح تشغيلها . والتآكل هو نتيجة للعملية الناجمة اثناء الاحتكاك بالتحطم التدريجى لأسطح تشغيل الاجزاء (التآكل بالاحتكاك) الذى يغير من أبعادها وأشكالها .

ونتيجة للتآكل بالاحتكاك يتغير طابع اقتران الأجزاء فى الوصلة، ومن جراء فقدان الدقة يصبح عمل التعشيقة المسننة غير منتظم، وتختل دقة حركة أجزاء ماكينات التشغيل - اعمدة الدوران ، والراسمات فى موجهاتها . . الخ ، كما تنخفض متانة الاجزاء بسبب انخفاض مساحات مقاطعها ، وزيادة الاحمال الديناميكية ؛ وتقل كفاءة (معامل كفاية) عمل الماكينة نتيجة لسوء ظروف التزييت فى كراسى المحاور ، واختلال شدة التوصيلات ، وزيادة تسرب الزيت؛ وترتفع الضوضاء عند تشغيل الماكينة . . الخ .

ويمكن للتآكل بالاحتكاك أن يحدث نتيجة للتأثير المتبادل للاسطح المقترنة المحتكة ببعضها ، أو لوجود دقائق صغيرة صلبة بينها (مواد حاكة)

تدخل ضمن مكونات الوسط الذى تعمل فيه الأجزاء. وفى الحالة الاخيرة يسمى التآكل بالاحتكاك تآكلا بالمواد الحاكة.

ويصاحب التآكل بالمواد الحاكة عمل غالبية اجزاء الماكينات الزراعيـــة وماكينات البناء والحفر .. الخ (أسلحة المحاريث، وأجزاء البولدوزرات ومغارف الحفارات ورؤوس الحفر الدوار وغيرها). وفى الشكل (٢ - ٨، أ)



الشكل ٢ - ٨

يوضح الطابع المبدئى لمنحنيات التآكل بالاحتكاك (١) وسرعة التآكل (٢) لمزدوجة الاحتكاك التى تعرف بأنها سطحان متلامسان متحركان لجزئيـن (لعينتين) وفق الظروف الطبيعية للخدمة او الاختبار. وتعين سرعـــة التآكل بالاحتكاك بظل الزاوية α التى يصنعها مماس المنحنى عند نقطة ما مع محور السينات الذى يعين عليه زمن عمل المزدوجة (t) .

وعمر خدمة الجزء ابتداء من بدء تشغيله حتى لحظة استهلاكه بسبب التآكل بالاحتكاك غير المسموح به، يمكن ان يقسم الى ثلاث فترات (الشكل ٢ - ٨، أ). والفترة الاولى تسمى بفترة التليين، وعملية التآكل بالاحتكـاك التى تجرى اثناءها تسمى بالتليين. وسبب هذا التآكل بالدرجة الرئيسيـة هو التصادم بين أسنان السطحين الكبيرة (الشكل ٢ - ٨ ،ب) المتبقيـــة بعد المعاملة (التشغيل) الميكانيكية لهما ؛ وأثناء ذلك اما أن تقطـــع واما أن تتشوه تشوها لدنا ويقل بذلك ارتفاعها. ويستمر التليين حتـى يصل عرض المساحات الناتجة الى عرض اكبر من عرض قاع المنخفضات (الشكل ٢ - ٨ ،ج).

وتعتبر فترة التليين هامة جدا فى عمر خدمة الماكينة. ونظام عمـــل الماكينة فيها يجب أن يكون نظاما مخففا والا يؤدى تولد الحرارة الكبيـر فى مناطق الاحتكاك الى احتراق طبقات زيت التزييت الرقيقة والى انصهـار وانفصال جسيمات صغيرة من المعدن فى مناطق التزاوج .

ويعقب فترة التليين فترة التشغيل الاعتيادى للماكينة التى تتميز بالتآكل المستقر بالاحتكاك .

وتعتبر سرعة التآكل أساس توصيف هذه الفترة: فكلما كانت أقل، كان عمر تشغيل مزدوجة الاحتكاك أطول.

والفترة الثالثة - التآكل الخطير بالاحتكاك - تؤدى الى حدوث زيادة غير مسموح بها فى الخلوص بين اسطح التلامس. وعند وجود الخلوصات الكبيرة تسوء ظروف التزييت وكذلك تزيد الطاقة المفقودة فى تصادم اسطح التشغيل. والنتيجة أن تكتسب الاخيرة تصلدا على البارد وقصافة زائدة. ويجب تلافى حدوث التآكل الخطير بالاحتكاك بواسطة القياس الميكرومترى للأجزاء او قياس الخلوصات فى وصلات الاحتكاك.

وتعتمد سرعة التآكل بالاحتكاك على الكثير من العوامل. واهمها قيمة وطابع التحميل وسرعة الانزلاق والتزييت وتبريد الاسطح ونشاط الوسط الكيميائى والطبيعى ... الخ.

وحيث أن الاحتكاك تصحبه ضغوط عالية بشكل استثنائى، تلك الضغوط المنقولة بواسطة النقط المرتفعة المتفرقة على أسطح الاجزاء، ومن ثم درجات حرارة محلية عالية، تعانى الطبقة السطحية من تغيرات تركيبية وكيميائية.

وعند السريان الطبيعى لعملية التآكل بالاحتكاك، يكون لنواتجه شكل مسحوق دقيق الانتشار؛ وفى حالة وجود الضغوط وسرعات الانزلاق الاعلى من المسموح بها للمزدوجة المعنية، ومع قلة التزييت أو سوء التبريد فان كمية الحرارة الناتجة تزيد بدرجة تؤدى الى حدوث انصهار أحجام كبيرة من المعدن يعقبه انفصال لجسيمات المعدن من أعماق اكبر. وهذا هو اكثر اشكال التآكل ضررا الذى يؤدى فى نهاية المطاف الى احداث الزرجنة والخدوش، اللذين يمحيان امكانية عمل الوصلة الطبيعى.

وكثرة العوامل المؤثرة على التآكل بالاحتكاك تصعب استحداث طرائق قائمة على أساس لحساب صمود اجزاء الماكينات للتآكل.

ومقارنة القيم الحسابية للضغوط النوعية p او حاصل ضرب $p \times v$ (حيث v هى سرعة الانزلاق)، الذى يتناسب مع شغل قوى الاحتكاك، مقارنتها بالقيم المسموح بها للمقدار $[p]$ او $[p \cdot v]$ بالتى تعين حسب معطيات الوصلات العاملة بأمان، تعطى تقييما تقريبيا لمقاومة التآكل بالاحتكاك:

$$p \leqslant [p]; \quad p \cdot v \leqslant [p \cdot v] \tag{2.34}$$

ويتم التوصل الى التقليل من التآكل بالاحتكاك فى الماكينات عن طريق اتخاذ اجراءات تصميمية (خلق الظروف التى تضمن وجود الاحتكاك السائل، والاختيار الصحيح لمواد الاجزاء فى المزدوجة .. الخ) وأخرى تكنولوجية (نظام الاعداد وزيادة المتانة والطلاء .. الخ)، وكذلك لاجراءات التشغيل (مراعاة أنظمة التزييت، وحماية اسطح الاحتكاك من الجسيمات الحاكة .. الخ).

وتجنبا لتحطم الاجزاء الباهظة الثمن تصنع الاسطح الاحتكاكية للجزء الارخص من مادة أكثر طراوة نسبيا بحيث تكون مقاومتها للتآكل جيدة ولكنها لا تسبب تآكلا سريعا فى سطح الازدواج فى الجزء الأعلى.

ويستخدم البابيت والبرونز وبعض أنواع الحديد الزهر واللدائن كمواد مقاومة للاحتكاك.

أهم الطرق البنائية لزيادة متانة أجزاء الماكينات: فى مسألة زيادة متانة أجزاء الماكينات يلعب الشكل البنائى للجزء دورا بالغ الاهمية. اذ أنه يجب أن يستجيب لمطلبين اساسيين :

١ - يجب أن يضمن شكل الجزء اتجاها معينا لتدفق الحمل القوى يصبح عنده تأثير الحمل مسلطا على أكبر حجم ممكن من ذلك الجزء ؛

٢ - يجب أن يوفر شكل الجزء عند اقترانه بالأجزاء الاخرى فى الوصلة، نقل الحمل على كل سطح التماس الداخل فى التصميم ،وعلى هذا السطح فقط.

ويمكن صياغة بعض المبادئ العامة لتكوين الاشكال البنائية لأجزاء الماكينات بما يتفق وهذين المطلبين ،كالآتى :

١ - عند تصميم الاجزاء لا يسمح بوجود مناطق الانتقال الحادة، اى التغيرات الحادة فى الشكل.

ومراعاة هذه المسألة امر فى غاية الاهمية ، حيث أنه يلاحظ عند وجود انتقالات حادة فى منطقة المقاطع المقترنة، تركيز كبير فى الاجهادات، يخفض من متانة الجزء عند تأثير الاجهادات المتغيرة فى مقاطعه .

٢ - يجب ان تضمن الأشكال التصميمية للجزء تساوى كل مقاطعه فى المتانة بقدر الامكان.

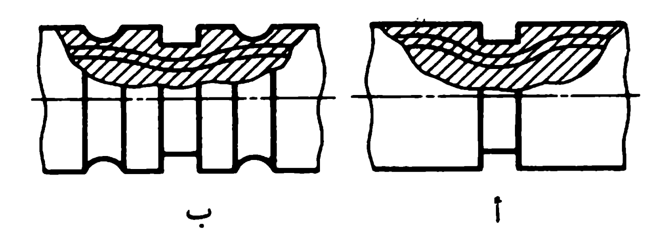
والسعى الى توفير المتانة المتساوية فى كل مقاطع الجزءآت قبل كل شئ عن عوامل اقتصادية. الا ان ايجاد مثل هذا التصميم يصدم فى كثير من الاحيان بصعوبات أغلبها ذات طابع تكنولوجى . لذلك تستبدى الأجزاء ذات الأشكال "المتساوية المقاومة" بأشكال اكثر تكنولوجية. علما بأن الابعاد النظرية لغالبية المقاطع تزاد عادة بسبب افتراض أن ذلك سوف يساعد على زيادة المتانة . وبمعنى آخر يعطى الجزء شكلا بحيث تكون حدوده النظرية ـ المحيط الخارجى "لتساوى المقاومة" تقع فى داخل المحيط الخارجى المختار. ومع ذلك يجب الأخذ فى الاعتبار ان قيمة معامل تركيز الاجهادات لا تعتمد فقط على شكل المنحنى الانتقالى وحده ، بل وأيضا على النسبة بين أبعاد مقاطع قطاعات الجزء الانتقالية : فالتقليل الحاد فى هذه الأبعاد يسبب زيادة الاجهادات الموضعية.

٣ - بهدف التوزيع المنتظم لتدفق القوى عبر حجم الجزء يجب ابعاد الاخير (سحبه) عن مناطق التركيز المحتمل للأحمال .

وثمة طرائق تصميمية مختلفة ، تحل بواسطتها مهمة تحسين توزيع تدفق القوى عبر حجم الجزء . ومن بينها يحتل مكانا خاصا ما يسمى بالقطوع التحتية لتخفيف الحمل ،التى تسمح بزيادة اطاقة الحزء بنسبة ٢٠ ٪ - ٣٠ ٪ .

وأحد أشكال "القطوع التحتية لتخفيف الحمل" ينحصر فى اجراء قطوع اضافية قريبة من القطع التحتى الأساسى (مكان تركيز الاجهادات ،

الشكل ٢ - ٩ ، أ) ، المتكون لأسباب تصميمية (الشكل ٢ - ٩ ، ب) . ويكون الغرض من ذلك القطوع الاضافية هو تغيير اتجاه تدفق القوى وتخفيف تركيزه .



الشكل ٢ - ٩

٤ - ان ازالة أماكن احتمال تركيز الأحمال تساعد على التوزيع المنتظم للحمل في كل السطح المصمم للتلامس.

ومهمة توفير التماس المطلوب بين الاسطح المقترنة لاجزاء الماكينات كثيرا ما تعتبر من الصعوبات الكبرى نتيجة لعدم دقة صنع الأجزاء وتشوهها بسبب تعرضها للأحمال . أضف على ذلك أنه مع وجود مثل هذا التماس يتوزع الحمل توزيعا غير منتظم على سطح التماس المصمم. وبهدف التوصل الى توزيع منتظم للحمل ، تعطى للأجزاء أشكال تستبعد فيها أماكن التركيز المحتمل للحمل .

وتستخدم هذه الطريقة التصميمية عند تصميم العجلات المسننة (التروس) . فلتلافى تركيز الأحمال فى قطاعات الاسنان القريبة من الاسطح الطرفية للعجلة ، تعطى للأسنان أشكال برميلية (أنظر الشكل ٢ - ٦) ؛ وعند تصميم جلب (لقم) كراسى محاور الانزلاق ، يصنع تجويف على شكل قطع ناقص او قطع زائد (عند وجود مقعدة اسطوانية) .. ألخ .

الجساءة

تحدد جودة تشغيل الماكينة فى الكثير من الحالات بدرجة جساءة وصلاتها المختلفة وأجزائها ، ويفهم من هذا المطلب تحديد مقادير تشوهاتها تحت تأثير الأحمال الخارجية.

وتعتبر حسابات الجساءة بالنسبة لبعض التصميمات هى الحسابات الاساسية، حيث أنه يتوجب اجراء حسابات هذه التصميمات انطلاقا من الازاحات المعطاة مسبقا . ويدخل فى عداد هذه الأجزاء على سبيل المثال اليايات، والعناصر المرنة (الزنبركات) فى الاجهزة .. الخ . وفى هذه الحالات يحدد عادة حساب الجساءة عادة مدى الاستجابة لمتطلبات المتانة.

وعند تصميم الأعمدة، وكراسى المحاور والتعشيقات المسننة والدودية والتعشيقات الاخرى ، يكون من المهم ضمان جساءة كافية. وتشويه الثنى

فى العمود الذى يزيد عن القيم المسموح بها ، وتشويه اللّى والثنى لزوج من العجلات المسننة المعشقة يؤدى الى التوزيع غير المنتظم للأحمال ، فـى عرض اسنان العجلة - اذ يتركز الحمل بالقرب من أطراف العجلات . وفى الحالات غير الملائمة للغاية يمكن حدوث كسر الاسنان لهذا السبب .

وعند ثنى العمود ، تتأرجح محاوره فى مرتكزاتها مما يؤدى الى تآكل بالاحتكاك غير منتظم فى جلب المحاور ، والى ارتفاع درجة حرارتها وزرجنة كراسى محاور الانزلاق . وانحناء العمود غير الجاسئ بدرجة كافية يسوء بشدة لظروف عمل كراسى محاور التدحرج اذا لم تكن الاخيرة تتمتع بمقدرة الضبط الذاتى .

وفى بعض الحالات تطرح على اجزاء الماكينات او على بعض عناصرها (على أسنان العجلات المسننة أو على حلقاتها الخارجية وغيرها) ، متطلبات مرتفعة لانطواعية تلك الاجزاء ، مما يساعد على زيادة اطاقتها .

وهكذا يمكن زيادة كفاءة المصنوعات بتنظيم جساءة الأجزاء وعناصرها . ولهذا الغرض يجب زيادة جساءة أجزاء الوصلات التى تؤدى تشوهاتها الى عدم انتظام توزيع الحمل على أسطح التلامس فيها . اما جساءة عناصر الاجزاء (التى تنقل الاحمال مباشرة) ، فيجب تقليل جساءتها فى مناطق أسطح التماس التى يفترض حدوث تركيز الاحمال فيها .

وللجساءة أهمية خاصة فى توفير الدقة المطلوبة للمصنوعات المشغلة على ماكينات التشغيل ، اذ أن الأخطاء غير المسموح بها يمكن ان تظهر بسبب تشوه نفس الجزء (مثلا عند ربطه) ، وتشوه أجزاء ماكينات التشغيل (عمود الدوران ، الشياق وكراسى المحاور . . الخ) . والانضغاط المرن للوصلات اثناء عملية تشغيلها يؤدى علاوة على عدم الدقة فى تصنيع المنتجات ، الى الذبذبة مما يقلل كثيرا من الانتاجية .

وتبدى متطلبات الجساءة تأثيرا على اختيار مادة الجزء أيضا . فمن المعروف أن مواصفات متانة الصلب تزداد باستمرار ، علما بأن قيم معاملات المرونة تبقى دون تغيير تقريبا . وبالنسبة للأعمدة المصنوعة من الصلب عالى المتانة يمكن أن يكون قطرها (من شرط التانة) صغيرا ، على حين أن متغيرات الجساءة تكون أكبر من القيم المسموح بها . ولهذا السبب كثيرا ما نضطر الى زيادة قطر العمود الى قيمة يمكن معها ضمان متانة العمود المصنوع من صلب له خواص ميكانيكية أقل وارخص ثمنا .

وحسابات الجساءة ضرورية عند تصميم التركيبات غير المحددة استاتيكيا ، حيث أنه لتحديد العوامل الداخلية للقوى (عزوم الثنى واللى والقوى العمودية والمماسة (" قوى القص") ، لا تكفى شروط الاتزان وحدها ؛ وتعتبر الشروط الاضافية هى معادلات الازاحة . ويعتبر تقييم الجساءة مهما عند حساب استقرار الاجزاء المحملة بقوى ضغط (لوالب التحميل ، لوالب السحب واليايات . . الخ) عند تصميم الاجزاء فى ظروف تأثير الاحمال الديناميكية .

ويجب أن تدخل فى الاعتبار عند حساب الجساءة أحيانا ، كل من الجساءة الذاتية للجزء (تشوه الحجم الأساسى لمادة الجزء) ، وجساءة

تماسه (تشوه الطبقات السطحية) .

وتحدد الجساءة الذاتية لاجزاء الماكينات نفسها وفق معادلات منهج " مقاومة المواد " ؛ ويدخل فى تحديدها فى كثير من الاحيان معامل الجساءة ، وهو النسبة بين عامل القوة (القوة ، العزم) وبين التشويه الذى يسببه. فمثلا معامل الجساءة لقضيب ذى مقطع ثابت F وطول l مشدود بقوة P يكون

$$c = \frac{P}{\lambda} = \frac{EF}{l} \tag{2.35}$$

حيث λ - استطالة القضيب ؛

E - معامل المرونة للمادة فى حالة الشد .

أما معامل الجساءة لقطاع مع قضيب قطره d وطوله l يؤثر عليه عزم لى M_t ،

$$c_t = \frac{M_t}{\varphi} = \frac{GJ_t}{l} \tag{2.36}$$

حيث φ - زاوية الالتواء ؛

G - معامل المرونة فى القص ؛

$J_t = \frac{\pi d^4}{32}$ - عزم القصور الذاتى القطبى لمقطع العمود .

ومقلوب معامل الجساءة $\left(\frac{1}{c}\right)$ يسمى معامل الانطواعية .

والجدول (٢-١) يحتوى على صيغ تعيين معاملات الجساءة لمختلف الرسومات التخطيطية الحسابية لوصلات العناصر المرنة. ويجب بحث حالات الأجزاء ذات المقاطع المتغيرة (مسماة اللولب وعمود الادارة المدرج ... الخ) على أنها عناصر مرنة موصلة على التوالى .

وبسبب صعوبة حساب تأثير جساءة الاجسام والفرشات وكراس المحاور فان الحساب الدقيق لجساءة حتى تلك الأجزاء مثل الاعمدة يلاقى صعوبات. ويجرى تقدير الجساءة على أساس مقارنة التشوهات الحسابية (الانحناءات وزوايا الالتواء وزوايا الدوران . . الخ) ، مع القيم المسموح بها والمقررة حسب نتائج التجارب الموضوعة خصيصا أو حسب المعطيات الاحصائية للتشغيل . وكما يتضح من الصيغتين (2.35) و (2.36) ، فان جساءة الجزء يمكن رفعها باختيار المادة المناسبة (E) وبالوسائل التصميمية التى يعتبر أهمها :

أ . تقليل ذراع قوى الثنى واللى ؛

ب . استخدام ركائز اضافية ؛

ج . استعمال مقاطع جيدة المقاومة للثنى (مع الابعاد الاقصى للمادة عن محور التعادل) واللى (المقاطع الأنبوبية المغلقة) ؛

د . تقليل طول الأجزاء المعرضة للشد وزيادة مساحة مقاطعها .

ومن البديهى أن زيادة انطواعية أجزاء الماكينات يمكن تحقيقها باجراءات معاكسة لما سبق .

الجدول ٢ - ١

معاملات الجساءة

الرسم التخطيطى للوصلة	نوع توصيل العناصر المرنة	صيغة تعيين معامل الجساءة	ملاحظات
c_1 c_2 P	على التوازى	$c = c_1 + c_2$	استطالتا العنصرين (١) و (٢) متساويتان
c_1 c_2 P	على التوالى	$c = \frac{c_1 c_2}{c_1 + c_2}$	——
c_1 c_2 c_3 P	على التوازى والتوالى	$c = \frac{(c_1 + c_2)c_3}{c_1 + c_2 + c_3}$	استطالتا العنصرين (١) و (٢) متساويتان

وعند اقتران غالبية الأجزاء ، تظهر تشوهات تلامس كبيرة. وللأجزاء التى تكون بداية التماس عند اقترانها (قبل تسليط الحمل) ، فى نقطة (مثلا فى كراس المحاور الكروية) أو فى خط (مثلا فى كراس المحاور الاسطوانية ، والتعشيقة المسننة . . الخ) تتحدد تشوهات التلامس حسب الصيغ المعنية من نظرية متانة التلامس لهيرتس - بيلايف ، وتظهر تشوهات أيضا عند اقتران الأجزاء التى تتمتع بمساحة تلامس مقدرة كبيرة (التى يحدها المحيط الخارجي لمنطقة التلامس) ، حيث أن المساحة الفعلية للتلامس ، نتيجة لتموج وتعرج أسطح التلامس تعتبر فى ذاتها مجموع المساحات الفعلية الصغيرة للتماس.

ويمكن أساسا حصر أهم التوصيات التصميمية الموجهة نحو رفع جساءة التلامس ، فى التالى :

أ . رفع جودة تشغيل أسطح التلامس ؛

ب . تجميع الوصلات والمجموعات بتداخل او شد ابتدائيين ؛

ج . تقليل عدد الوصلات ؛
د . ادخال طبقة من زيت التزييت بين أسطح التماس .
كما أن زيادة لزوجة الزيت تساعد على زيادة جساءة التماس.

الصمود للذبذبات

ان زيادة سرعات تشغيل الماكينات واجزائها ، وكذلك ما يصاحب هذا من الاتجاه نحو تسهيل التصميم كثيرا ما يساعدان على ظهور الذبذبات. ويقصد بالذبذبات تلك التشوهات الدورية التى تكون سعتها صغيرة للغاية اذا ما قورنت بأبعاد الجزء المتذبذب. والخطر الكبير الناجم من الأحمال التى تسبب الذبذبة يكمن فى أنه عند توفر ظروف خاصة، يمكن ان تؤدى تلك الاحمال الى تحطمات كلالية للأجزاء .

وفى الحالات التى يكون فيها تردد الذبذبة الذاتية للماكينة أو لأجزائها منطبقا على تردد تغير القوى الدورية الخارجية المسببة لها يحدث الرنين ، وعنده تحدث زيادة فى سعة الذبذبات، تؤدى فى بعض الاحيان الى التحطم.

وذبذبة اعمدة الدوران فى ماكينات تشغيل المعادن وما يرتبط بها من أجزاء تجلب رداءة لنوعية الاسطح المشغلة ويمكن ان تصبح السبب فى فقدان حدة عدة القطع، بل وحتى فى تحطمها .

وذبذبة أجزاء التعشيقات المسننة (العجلات المسننة والأعمدة وأجسام مخفضات السرعات وغيرها) ، التى تسببها مرونة الأجزاء وعناصرها (العجلات المسننة، وجدران الاجسام . . الخ) . وعدم الدقة الدورية لأسطح التشغيل فى الاسنان ، وتغير مقادير تشوهات الاسنان وقوى الاحتكاك من التعشيق، تولد الضوضاء .

ومكافعة الذبذبات التى تتحول أبعادها الى درجات خطيرة بالنسبة للمجموعة المرنة، تجرى بوسائل عديدة. واكثرها بديهية هى استئصال القوى الخارجة التى تؤدى الى الذبذبات الخطيرة. الا أن امكانية استخدام هذا المبدأ تعتبر محدودة عمليا . وحل المسألة كثيرا ما يمكن الحصول عليه بتغيير الخواص الديناميكية للمجموعة ـ بتغيير عزوم القصور الذاتى للكتل وانطواعية الوصلات) .

وفى الحالات التى لا يمكن التوصل فيها الى نتائج مرضية بالوسائل الواردة اعلاه ، تدخل فى المجموعة أجهزة وتراكيب خاصة ـ مضائلات الذبذبات والوسائل المضادة للذبذبات.

التسخين

يعتبر ضمان نظام درجة حرارة معين فى عمل اجزاء الماكينات (او وصلاتها) شرطا هاما لقيام الكثير من الماكينات بوظائفها بشكل طبيعى . وتظهر هذه المطالب فى الحالات التى يحدث فيها فى عملية تشغيل الماكينة نتيجة للاحتكاك، فقد كبير فى القدرة يصاحبه زيادة فى تولد الحرارة أو عندما يكون محتلا تغير درجة حرارة الوسط المحيط .

والحسابات الحرارية فى بناء الماكينات تنفذ فى غالبية الحالات بهدف تحديد درجة حرارة متسخين (أو تبريد) الأجزاء والبحث عن سبل تحديدها فى حدود مسموح بها . وتجاوز هذه الحدود (التى تعين معدلاتها وفق معطيات تجريبية) يمكن أن يؤدى الى تشوهات حرارية تغير من طابع التأثير المتبادل بين الأجزاء فى الماكينة (الوصلة) ومن ثم يؤدى الى اجهادات اضافية (حرارية) والى الاخلال بالظروف الطبيعية للتزبيت (تغير الخلوصات ولزوجة زيت التزبيت مما قد يؤدى الى حدوث الزرجنة بين اسطح التماس) وغير ذلك من الظواهر غير المسموح بها .

ان أخذ هذه العوامل فى الاعتبار يصبح هاما عند حساب الكثير من الوصلات والأجزاء مثل حساب وصلات اللوالب على المتانة - وذلك للتقييم الصحيح للاجهادات الناتجة عند تغيير درجة حرارة الوسط المحيط .

وعند تصميم بعض أنواع التعشيقات (وخصوصا التعشيقات الاحتكاكية او التعشيقات الدودية وغيرها) ، والقارنات وغيرها من الأجزاء، تعتمد على النظام الحرارى فى كثير الأحيان مقدرتها على العمل، وتصميم وأبعاد الاجزاء، وكذلك اختيار المواد والزيوت . . الخ . وتؤدى هذه الحسابات فى العادة الى وضع شروط الميزان الحرارى وبمساعدتها تحدد العلاقة بين كمية الحرارة المولدة وكميتها المستبعدة فى عمل الماكينة.

فمثلا ، اذا كانت القدرة المفقودة فى احدى وسائل نقل الحركة N_l بالكيلووات ، تتحول الى حرارة تكون كميتها

$$Q = \frac{102}{427} \cdot 3600 N_l = 860 N_l \text{ kcal/h} \tag{2.37}$$

فانه يلزم لاستبعاد الحرارة، سطح تبريد مساحته F_h للتعشيقة غير المكشوفة التى تعمل فى زيت تحت نظام حرارى مستقر، وتحدد F_h من شرط التوازن الحرارى

$$Q \leqslant F_h k_h (t_1 - t_2) \tag{2.38}$$

حيث k_h - معامل انتقال الحرارة بالكيلوكالورى/م٢ . ساعة . درجة حرارة مئوية واحدة (k_h تختار فى حدود من ٧٫٥ حتى ١٥ تبعا لسرعة

الهواء المحيط بجسم التعشيقة ؛ t_1 ـ درجة حرارة الزيت (يكــون عادة $t_1 = 75° \div 85°$) ؛
t_2 ـ درجة حرارة الوسط المحيط .
ولتحقيق الشرط (2.38) يتحتم فى بعض الاحيان زيادة سطــح التبريد فى جسم الماكينة (مثلا بمساعدة الأضلاع والزعانف والريش) واستخدام المراوح الهوائية لتبريد الاسطح شديدة التسخين . . الخ .
وفى عملية تصميم أجزاء الماكينات العاملة عند درجات حرارة عالية يجب تنفيذ حسابات خاصة حيث ان تصرف المعادن المعرضة للاجهادات تحت هذه الظروف يختلف عن تصرفها فى درجات الحرارة العادية. فعنــد درجات الحرارة العالية والعالية جدا تكتسب أهمية خاصة ظاهرة زحــف المعادن وارتخاء الاجهادات.
وتطلق تسمية الزحف على خاصية المعدن فى ان يتشوه ببطء وباستمرار (يزحف) عند اجهاد ثابت.
وحد الزحفان هو فى العادة المواصفة الكمية للزحف وهو الاجهــاد الذى يصل عنده التشويه اللدن خلال فترة زمنية معينة، الى قيمة معينة.
والارتخاء يطلق على عملية تغير الاجهادات مع الوقت نتيجة لتحميــل الجزء . وظاهرة الارتخاء تلاحظ فى وصلات مسامير اللوالب الشادة للشفهات (هبوط قيمة الاجهاد عن احكام مسامير اللوالب، نتيجة لاعادة التوزيــع مع الوقت للتشوهات غير المتغيرة فى مجموعها ـ زيادة التشوهات اللدنــة وتقليل التشوهات المرنة) ، وفى الوصلات ذات التداخل (التسامح السالــب) بين اقراص التوربينات مع عمودها (التقليل التلقائى لاجهادات التوافــق) وغيرها .
وحسابات أجزاء الماكينات مع اعتبار الظواهر المشار اليها تبحث فــى كتب خاصة.

الباب الثالث

اختيار المادة

المواد الاساسية ومواصفاتها

يعتبر اختيار المادة عملية رئيسية فى تصميم الماكينات. اذ يجب ان يتم هذا الاختيار مع المعرفة الكاملة لخواص مختلف المواد والمتطلبات المطروحة عليها من ظروف العمل وتصنيع الجزء المعنى.

ويستخدم فى بناء الماكينات الصلب والحديد الزهر وسبائك المعادن غير الحديدية والسيراميك المعدنى والمواد غير المعدنية. والتركيب والخواص (فى حالة التوريد) لكل المواد المستخدمة فى بناء الماكينات تقريبا تنظمهما المواصفات القياسية للدولة. أما الخواص المكتسبة من المعالجة الحرارية والكيميائية الحرارية للمواد ونتيجة لمعالجتها الميكانيكية فتحتويها النشرات الاعلامية.

ويدرس كل من التركيب الكيميائى و خواص مواد بناء الماكينات الاساسية وطرائق معاملتها وتشغيلها فى مناهج علوم الميتالورجيا وتكنولوجيا المعادن، وتكنولوجيا بناء الماكينات.

وقد سبق وان تعرضنا فى الباب الاول من هذا الكتاب الى المتطلبات العامة المطروحة على مواد الأجزاء من ظروف عملها فى الماكينات. اما المتطلبات الخاصة فسترد أدناه مع دراسة تصميمات وحسابات الاجزاء المعينة.

وترد فى الجدول ٣ - ١، ٣ - ٢، ٣ - ٣، ٣ - ٤ الخصائص الرئيسية لبعض المعادن والسبائك التى تستخدم بشكل واسع فى بناء الماكينات.

وبناء الماكينات فى كل مراحل تطوره قد حفز بظهور المواد الجديدة التى تتمتع بخواص تضمن تقدمه المستمر. فمثلا ان تطور صناعة بناء الطائرات قد دعى الى ايجاد سبائك خفيفة عالية المتانة، أما تطور المحركات النفاثة فدعى بدوره لظهور سبائك مقاومة للحرارة.. الخ. وجنبا الى جنب مع ايجاد المواد الجديدة أخذت تتحسن باطراد نوعية اداء المواد الموجودة. فمثلا ان حد المتانة فى الشد لصلب الانشاءات الذى كان بالكاد يصل الى ٦٠ كجم/مم^{2} ،فانه يصل بفضل استعمال مختلف عناصر السبائك والمعاملات الحرارية الى ١٨٠ كجم/مم^{2} اى اكبر بثلاث مرات * . كما أن متانة الحديد الزهر قد ارتفعت اكثر من ذلك، اذ كان الحديد الزهر كمادة انشائية يتمتع بحد متانة للشد منذ ٥٠ عاما،

---

* الأنواع التجريبية المعروفة من الصلب يصل حد متانة الشد فيها (σ_{ut}) حتى ٢٤٠ كجم/سم^{2} .

الجدول ٣ - ١

الخصائص الميكانيكية لبعض انواع الصلب

ماركة الصلب	المعاملة الحرارية التى يتعرض الصلب لها	الصلادة Bhn	الصلادة Rc	حد المتانة σ_{ut} (كجم/مم٢)	حد الخضوع σ_y (كجم/مم٢)	حد الكلال σ_{-1} (كجم/مم٢)
				لا تقل عن		
Ст. 3	الدلفنة على الساخن			٣٨	٢٢	١٧
Ст. 5	الدلفنة على الساخن			٥٠	٢٦	٢٢
Ст. 6	الدلفنة على الساخن			٦٠	٣٠	٢٥
15ХСНД	الدلفنة على الساخن			٥٢	٣٥	-
15	الدلفنة على الساخن	≤١٥٦		٣٨	٢٣	١٧
	السمنتة، التقسية، التطبيع		٦٢-٥٦	٤٥	٢٥	-
35	الدلفنة على الساخن	≤١٨٧		٥٤	٣٢	٢٢
	التقسية، التطبيع		٤٠-٣٤	١٠٠	٦٥	-
45	الدلفنة على الساخن	≤٢٤١		٦١	٣٦	٢٥
	التقسية، التطبيع	-٢٤١ ٢٨٥		٨٥	٥٨	٣٤
A12	السمنتة، التقسية، التطبيع		٦٢-٥٦	٤٥	٣٠	-
50Г2	التلدين	≤٢٢٩		٧٥	٤٣	٣٣
	التقسية، التطبيع			٩٦	٧٠	-
65Г	التلدين	≤٢٢٩		٧٥	٤٤	-
	التقسية، التطبيع		٤٨-٤٢	١٥٠	١٢٥	٥٩
20Х	السمنتة، التقسية، التطبيع		٦٢-٥٦	٨٥	٦٣	٤٨
40Х	التحسين (الصلب المحسن)	-٢٢٨ ٢٨٠		٧٥	٥٢	٣٤
	التقسية، التطبيع	-٢٤٠ ٢٨٠		١٠٠	٨٠	٤٠
	التقسية، التطبيع		٥٠-٤٥	١٥٠	١٣٠	٥٥
18ХГТ	السمنتة، التقسية، التطبيع		٦٢-٥٦	١٠٠	٨٠	٦٥
30ХГТ	التقسية، التطبيع		٤٥-٤٠	١٢٥	١٠٥	-

ماركة الصلب	المعاملة الحرارية التى يتعرض الصلب لها	الصلادة		σ_{ut} المتانة (كجم/مم^2)	σ_y الخضوع (كجم/مم^2)	σ_{-1} الكلال (كجم/مم^2)
		Bhn	Rc	لا تقل عن		
20XГР	السمنتة، التقسية، التطبيع		٦٣-٥٨	١١٥	٩٥	٦٥
40XГР	التقسية ، التطبيع		٣٥-٢٨	١٠٠	٨٠	-
			٤٨-٤٤	١٥٥	١٣٥	-
30XГСА	التقسية، التطبيع		٣٥-٣٠	١١٠	٨٥	٥١
35XГСА	التقسية ، التطبيع		٥٠-٤٥	١٦٥	١٣٠	-
12XH3A	السمنتة، التقسية، التطبيع		٦٢-٥٦	١٠٠	٨٥	٥٥
12X2H4A	السمنتة، التقسية التطبيع		٦٣-٥٨	١٢٠	٩٥	-
18XHBA	السمنتة ، التقسية التطبيع		٦٣-٥٨	١١٥	٨٥	-
20XГHP	السمنتة، التقسية التطبيع		٦٣-٥٨	١٣٠	١٢٠	
40XH	التقسية، التطبيع	≥٢٥٥		١٠٠	٨٠	٤٥
	التقسية، التطبيع		٥٠-٤٠	١٣٠	١١٠	-
	التقسية ، التطبيع		٥٤-٤٨	١٦٠	١٤٠	-
				١٠٠	٨٥	٤٥
40XHMA	التقسية ، التطبيع	≥٣٠٢		١١٠	٩٠	-
ШX15	التقسية، التطبيع		٦٤-٥٨	٢٢٠	١٧٠	٦٦

ملاحظة. يرمز الى الانواع الجيدة من الصلب الكربونى بارقام تدل على المقدار المتوسط لمحتوى الكربون باجزاء مئوية من المئة. ويرمز الى الصلب السبائكى بالاضافة الى تلك الارقام بحروف (روسية) تدل على عناصر السبك الرئيسية، فمثلا B - التنجستن؛ Г - المنغنيز؛ Д - النحاس؛ M - الموليبدينوم؛ H - النيكل؛ P - الباريوم؛ C - السليكون؛ T - التيتانيوم؛ Ф - الفاناديوم؛ Ю - الالومنيوم. وتدل الارقام الواقعة بعد الحروف على النسبة المئوية لمحتوى المركب المناسب. واذا كان محتوى هذا المركب اقل من ١٪ او قريبا منه، فان الارقام لا تكتب. ويضاف الى ماركة الصلب من النوعيات العالية الحرف A ، وذلك فى نهاية الماركة. فعلى سبيل المثال تدل الماركة 12X2H4A على صلب كرومى نيكلى من النوعية العالية مع وجود ١٢ر٠ ٪ من الكربون، ٢٪ من الكروم، ٤٪ من النيكل.

الجدول ٣ - ٢

الخصائص الميكانيكية لبعض انواع صبات الصلب

ماركة الصلب	المعاملة الحرارية	حد المتانة عند الشد σ_{ut} (كجم/مم٢)	حد الخضوع σ_{γ} (كجم/مم٢)	الاستطالة النسبية δ (بالنسبة المئوية)	الصلادة السطحية Bhn
25 ЛI	المعادلة أو التلدين	٤٥	٢٤	١٩	١٧٠ - ١٢٥
35 ЛII	المعادلة أو التلدين	٥٠	٢٨	١٥	١٦٦ - ١٣٧
45 ЛII	المعادلة أو التلدين	٥٥	٣٢	١٢	٢٢٩ - ١٥٣
55 ЛII	المعادلة أو التلدين	٦٠	٣٥	١٠	١٩٩ - ١٧٠
70 Л	المعادلة أو التلدين	٤٠	٣٥	٦	٢٥٥
35 ХГСЛ	التقسية والتطبيع	٨٠	٦٠	١١	٢٢٥

ملاحظة . تبعا لمقدار وجود الكبريت والفسفور، تراعى المواصفات القياسية ثلاثة انواع من الصبات : *I* - الصبات ذات النوعية الاعتيادية، *II* - الصبات ذات النوعية المرتفعة ، *III* - الصبات ذات النوعية الخاصة (بادنى مقدار من الكبريت والفسفور) .

الجدول ٣ - ٣

<u>الخصائص الميكانيكية لصبات حديد الزهر</u>

	ماركة حديد الزهر	حد المتانة عند الشد σ_{ut} (كجم/مم^٢)	حد المتانة عند الانحناء σ_b (كجم/مم^٢)	حد الخضوع الاصطلاحى σ_y (كجم/مم^٢)	الاستطالة النسبية δ (بالنسبة المئوية)	الصلادة السطحية Bhn
حديد الزهر الرمادى	СЧ 12-28	١٢	٢٨			١٤٣ - ٢٢٩
	СЧ 15-32	١٥	٣٢			١٦٣ - ٢٢٩
	СЧ 18-36	١٨	٣٦			١٧٠ - ٢٢٩
	СЧ 21-40	٢١	٤٠			١٧٠ - ٢٤١
	СЧ 24-44	٢٤	٤٤			١٧٠ - ٢٤١
	СЧ 28-48	٢٨	٤٨			١٧٠ - ٢٤١
	СЧ 32-52	٣٢	٥٢			١٨٧ - ٢٥٥
	СЧ 35-56	٣٥	٥٦			١٩٧ - ٢٦٩
	СЧ 38-60	٣٨	٦٠			٢٠٧ - ٢٦٩

	ماركة حديد الزهر	حد المتانة عند الشد σ_{ut} (كجم/مم ٢)	حد المتانة عند الانحناء σ_b (كجم/مم ٢)	حد الخضوع الاصطلاحي σ_y (كجم/مم ٢)	الاستطالة النسبية δ (بالنسبة المئوية)		الصلادة السطحية Bhn
حديد الزهر ذو المتانة العالية	BЧ 45 – 0	٤٥		٣٦			٢٥٥ - ١٨٧
	BЧ 50 – 1.5	٥٠		٣٨	١ر٥		٢٥٥ - ١٨٧
	BЧ 60 – 2	٦٠		٤٢	٢ر٠		٢٦٩ - ١٩٧
	BЧ 45 – 5	٤٥		٣٣	٥ر٠		٢٠٧ - ١٧٠
	BЧ 40 – 10	٤٠		٣٠	١٠ر٠		١٩٧ - ١٥٦
حديد الزهر المطروق	KЧ 30 – 6	٣٠			٦	عينات بقطر ١٦ م	١٦٣
	KЧ 33 – 8	٣٣			٨		١٦٣
	KЧ 35 – 10	٣٥			١٠		١٦٣
	KЧ 37 – 12	٣٧			١٢		١٦٣
	KЧ 45 – 6	٤٥			٦		٢٤١
	KЧ 50 – 4	٥٠			٤		٢٤١
	KЧ 56 – 4	٥٦			٤		٢٦٩
	KЧ 60 – 3	٦٠			٣		٢٦٩
	KЧ 63 – 2	٦٣			٢		٢٦٩

الجدول ٣ - ٤

التركيب الكيميائى والخواص الميكانيكية لبعض اصناف السبائك غير الحديدية

السبيكة	الماركة	التركيب الكيميائى (العناصر المكونة بالنسبة المئوية)	حد المتانة فى حالة الشد σ_{ut} kgf/mm^2	الاستطالة النسبية δ %	الصلادة السطحية Bhn
البرونز	Бр. ОЦС 5 – 5 – 5	قصدير ٤ - ٦ ، رصاص ٤ - ٦ ، زنك ٤ - ٦ ، الباقى نحاس احمر	٢٠ - ١٥	١٢ - ٨	٦٠
	Бр. ОФ 10 – 1	قصدير ٩ - ١١ ، فوسفور ٨ر٠ - ٢ر١ ، الباقى نحاس احمر	٣٥ - ٢٠	١٠ - ٣	١٢٠ - ٨٠
	Бр. АЖ 9 – 4	الومينيوم ٨ - ١٠ ، حديد ٢ - ٤ ، الباقى نحاس احمر	٥٠ - ٤٠	١٥ - ١٠	١٢٠ - ١٠٠
النحاس الاصفر	ЛМцС 58 – 2 – 2	رصاص ٥ر١ - ٥ر٢ ، منجنيز ٥ر١ - ٥ر٢ ، نحاس احمر ٥٧ - ٦٠ ، الباقى زنك	٤٢ - ٣٦	١٥ - ٧	٩٠ - ٧٠
	ЛАЖ Мц	الومينيوم ٦ - ٧ ، حديد ٢ - ٤ منجنيز ٥ر١ - ٥ر٢ ، نحاس ٦٤ - ٦٨ ، الباقى زنك	٧٠ - ٦٥	٧	١٦٠
البابيت	Б – 83	انتيمون ١١ ، نحاس ٦ ، قصدير - ٨٣	٩	٦	٣٠
	Б – 16	انتيمون ١٦ ، نحاس ٧٥ر١ ، قصدير - ١٦ والباقى رصاص	٨	٢ر٠	٣٠
	БН	انتيمون ١٤ ، نحاس ٧٥ر١ ، كادميوم - ٥ر١ نيكل ١ ، زرنيخ ٧ر٠ ، قصدير - ١٠ ، الباقى رصاص	٧	١	٢٩

لا يزيد عن ١٠ - ١٥ كجم/مم٢ ،أما فى الوقت الحاضر فقد زاد حد متانة الشد لأنواع الحديد الزهر ،حتى وصل الى ٨٠ كجم/مم٢ أى اكثر ب ٥-٨ مرات وذلك بفضل الطرائق الفعالة لتكوين السبائك منه وبفضل تعديلـــه. وبفضل زيادة المتانة مع الاحتفاظ فى نفس الوقت بالخصائص التى يتميز بها الحديد الزهر (الصلابة الدورية العالية، وحد الاطاقة العالى، وعدم حساسيته للقطوع التحتية، والخواص الجيدة فى السباكة، وكذلك سعره المنخفض)، فـــان الحديد الزهر المعدل، والحديد الزهر الجرافيتى أصبحا بالنسبة لتركيبهما فى السباكة مواد ثمينة لبناء الماكينات. ويستخدم الحديد الزهر حتى فـى صنع أعمدة المرفق التى كانت تصنع فى الماضى من الصلب فقط.

وهذه الأمثلة توضح أن التوصيات المختلفة بتخصيص أنواع معينة مـــن المواد لهذه الأجزاء أو تلك تحمل طابعا مؤقتا. وهذه التوصيات يجـب أن تراجع باستمرار ودوريا مع الأخذ بعين الاعتبار المواد والمعطيـــات الجديدة عن خواص المواد التى استخدمت فى السابق *.

وفى تطور صناعة بناء الماكينات خلال الـ ١٥-٢٠ سنة الاخيرة، من العسير العثور على مثال لتقدم آسرع من ذلك التقدم الحاصل فى استخدام المواد.

وتولى اهمية خاصة للدائن (البلاستيك) وسط مواد بناء الماكينـــات الجديدة. والمواد غير المعدنية المصنوعة على أساس البلمرات الطبيعيـــة أو المخلقة والمشكلة الى مصنوعات بواسطة طريقة التشويه اللدن فى الغالب، تسمى باللدائن (البلاستيك).

واللدائن (البلاستيك) تتكون أساسا من مكونين - راتنجات (مواد للربط)، ومواد مالئة. وتبعا لتصرف المواد الرابطة عند تسخين اللدائن، تقســـم الاخيرة الى لدائن لا حرارية ولدائن تتعجن بالحرارة. ويدخل فى عداد الاولى المواد التى عند تسخينها وضغطها تتحول الى كتلة غير قابلـــة للانصهار وحالة غير قابلة للذوبان، علما بأن هذه العملية غير قابلة للارتداد. اما اللدائن التى تتعجن بالحرارة فعند تسخينها تنصهر (أو تصبح لدنة)، أما عند التبريد فتتصلب، علما بأن هذه العملية قابلة للارتداد: أى أن المواد التى تتعجن بالحرارة يمكن اعادة تشكليها.

وأهم مكونات اللدائن تعتبر المادة الراتنجية الرابطة، التى تؤثر فى كل الخواص الاساسية للمادة، الطبيعية - الميكانيكية، والكيميائية وخواص العـــزل الكهربى وغيرها.

والمواد المالئة تؤثر فى خواص الكبس (السيولة، والتقلص أو الانكـــماش)، ومقاومة الحرارة (الصمود الحرارى) ونظام اعادة تشكيل المادة الى مصنوعات

---

* فى السنوات الاخيرة أخذت سبائك التيتانيوم تستخدم أوسع فأوسع، والمعتقد أن المستقبل لها، اذ أنها أمتن بمقدار ٢ - ٣ مرات من سبائـك الالومنيوم، وبمقدار ٥ مرات من سبائك الماغنسيوم، كما أنها تتفوق على بعض سبائك الصلب بالنسبة للمتانة. والتيتانيوم اخف من الصلب بمقدار الضعف ويتمتع بمقاومة للتآكل بالصدأ أعلى من الصلب المضاد للصدأ.

(الضغط النوعى ، ودرجة حرارة الكبس) ، وعلى المتانة الميكانيكية للمصنوعات الجاهزة. وتستخدم كمواد مالئة المواد العضوية (نشارة الخشب، والقماش والورق والالياف الاصطناعية والنباتية وغيرها) ، والمواد غير العضوية (الاسبستوس ، والتلك والكاولين والميكا ، والصوف الزجاجى وغيرها) .

وتضاف الى اللدائن مساعدات اللدونة - من أجل زيادة لدونة المصنوعات، ولتسهيل عمليات الدلغنة والكبس، وكذلك أصباغ لاكساب المنتج اللون المرغوب.

واللدائن تعتبر مواد مستقلة، تتزايد باستمرار اهميتها واستخداماتها . وحسب خواصها الميكانيكية الرئيسية ومجالات استعمالها تنقسم الى لدائن تتحمل القوى ولدائن لا تتحملها (ومنها اللدائن الزخرفية واللدائن العازلة لكهرباء وغيرها) . كما تنقسم اللدائن التى تتحمل القوى تنقسم بدورها الى لدائن بنائية واحتكاكية ومضادة للاحتكاك.

واللدائن البنائية ذات المتانة المنخفضة تتمتع بحد متانة فى الشد يصل الى σ_{ut} = ٥٠٠ كجم/سم^٢ ، وللحنى $\sigma_{u\ bend}$ = ٨٠٠ كجم/سم^٢ ويدخل فى عدادها البوليسترول والبلاستيك الفينولى والبلاستيك الامينى وغيرها .

ويدخل فى عداد اللدائن ذات المتانة المتوسطة σ_{ut} ≈ ٣٠٠٠كجم/سم^٢ ، و $\sigma_{u\ bend}$ ≈ ٢٨٠٠ كجم/سم^٢ ، المواد التى يدخل فيها الورق (جيتيناكس) والأقمشة القطنية (تكتسوليت) ونشارة الخشب (ليجنوفول) كمواد مالئة. واللدائن ذات الطبقات هى أنيزوتروب، ويجب عند التصميم مراعاة ما يلى : لا يجب أن تؤثر أحمال التشغيل فى الاتجاه الذى يسبب انفصال طبقاتها أو ازاحتها بعضها بالنسبة للبعض الآخر.

ويدخل فى عداد اللدائن عالية المتانة (σ_{ut} ≈ ٤٠٠٠ كجم/سم^٢ ، $\sigma_{u\ bend}$ ≈ ١٢٠٠-١٦٠٠ كجم/سم^٢) المواد المسلّحة بالصوف الزجاجى (الباغة) . وتصنع منها الأنابيب والأوعية الخزانات) ، وأجسام (هياكل) السيارات وغيرها .

والاجهادات المسموح بها لمختلف أنواع اللدائن تعتمد على حد متانة هذه المواد للنوع المعنى من التشويهات. ومعامل الامان فى حالة الشد والضغط يؤخذ بما يزيد عن نصف أو ربع حد المتانة فى حالة الشد والضغط لنوع اللدائن المستخدم، أما فى حالة الحنى الاستاتيكى فيما لا يزيد عن ربع حد المتانة فى حالة الحنى . والاجهادات المسموح بها فى حالة القص والقطع تؤخذ انطلاقا من حد متانة اللدائن فى الضغط فى مستوى عمودى على مستوى كبسها مع أخذ معامل الامان يساوى ١٠ ، وأما من معطيات اختبار القص مع أخذ معامل الامان يساوى ٣ .

وفى بعض الحالات، وبغرض زيادة المتانة تصب اللدائن على تسليح من المعدن (شبكة أو شرائط) . والاجزاء المسلحة بهذا الشكل قادرة على تحمل احمال كبيرة.

وعند اختيار المادة لتصميم الجزء يجب الانطلاق من الشروط التالية :

١ - شرط الاداء - يجب على المادة ان تستجيب لظروف عمل الجزء فى الماكينة ؛

٢ - الشرط التكنولوجي - على المادة أن تستجيب متطلبات الحد الادنى من جهد الاعداد ؛

٣ - الشرط الاقتصادى - على المادة ان تكون اقتصادية ، فبالاضافة الجزء يجب الاخذ بعين الاعتبار كافة النفقات المبذولة على تشغيل الماكينة المخصصة لها هذه الاجزاء .

والاختيار الصحيح للمادة المستخدمة فى صنع جزء ما ، مع الأخذ الكامل فى الاعتبار لكل هذه المقدمات، يعتبر مهمة اقتصادية فنية صعبة. ومما يزيد تعقيد هذه المهمة هو ان شكل وابعاد الجزء تتغير تبعا للخواص الميكانيكية والامكانيات التكنولوجية للمادة المعنية.

وعموما فان الاختيار السليم للمادة يمكن أن يتم فقط على أساس مقارنة عدة حلول. وهكذا بالذات يتم الأمر فى الحالات الهامة عندما يحدد اختيار هذه المواد أو تلك لصنع الجزء ، تصميم الوصلة المعقدة، وزنها وحجمها (أبعادها) وتكلفتها.

وفى بعض الحالات يكون اختيار المادة أيسر اذا استخدمت منظومة من الدلائل التى توصف لا خواص المادة وحدها ، اذا أخذت بمعزل عن الخواص الاخرى (مثل المتانة وحدها ، أو الاطاقة ، أو الجساءة) ، بل مجمع من عدة خواص أو مجموعها. وتركيب تلك المؤشرات يتغير وفقا لهذه المتطلبات التى تطرح على التصميم مثل ، التكلفة الدنيا أو الحد الادنى للوزن بالنسبة للجزء ذى المتانة أو الاطاقة أو الجساءة، المعطاة سلفا وما الى ذلك . وفى أغلب الاحيان تؤخذ فى الاعتبار تلك الدلائل التى يعتبر وزن الجزء فيها بمثابة نقطة انطلاق ، حيث أنه بالنسبة للكثير من الماكينات يعتبر عاملا هاما يوصف فعالية التصميم. وعلاوة على ذلك، فبجانب كون تكلفة وحدة الاوزان فى الجزء تعطى فكرة عن سعة التصميم بالنسبة للمعدن ، توجد أيضا تكلفة المعدن فكرة عن سعة التصميم بالنسبة للمعدن ، توجد أيضا تكلفة المعدن نفسه ؛ ان كلا الدليلين هام فى كل الحالات.

ويرد أدناه استنتاج هذه الدلائل لبعض أهم الحالات .

التقييم الوزني النسبى

اذا افترضنا أن عتبة طولها L تؤثر عليها قوة شد P ؛ واذا افترضنا ان الوزن النوعى للمادة γ ، وأن حد متانتها فى الشد σ_{ut} ، وان معامل الامان n ، فان مساحة مقطع العتبة F ، وحجمها V ووزنها G تتحدد بالصيغ التالية

$$F = \frac{P}{[\sigma]_t} = \frac{nP}{\sigma_{ut}}; \quad V = FL = \frac{nPL}{\sigma_{ut}}; \quad G = V_\gamma = nPL\frac{\gamma}{\sigma_{ut}}$$

وعلى ذلك عند ثبات L و P و n فان نسبة اوزان عتبتين من مادتين مختلفتين ($\gamma', \sigma'_{ut}, \gamma'', \sigma''_{ut}$) تكون

$$\frac{G'}{G''} = \frac{\sigma''_{ut}}{\gamma''} : \frac{\sigma'_{ut}}{\gamma'} \tag{3.1}$$

ومن هنا فان وزنى عتبتين لهما نفس المتانة (فى حالة الشد) يتناسبان عكسيا مع المقدار $\frac{\sigma_{ut}}{\gamma}$. فكلما زادت هذه النسبة كلما كانت هذه المادة أوفق بالنسبة للوزن . والنسبة $\frac{\sigma_{ut}}{\gamma}$ تسمى بالمتانة النوعية، وهى تعتبر احدى المعايير الاساسية لنوعية المادة فى التصاميم التى تعار لأوزانها أهمية خاصة.

واذا كان الحساب يجرى حسب حد الاطاقة σ_{-1t} فان الدراسة المناظرة يمكن أن تظهر أن مدى ملاءمة المادة يتحدد بالنسبة بين γ, σ_{-1t} ($\frac{\sigma_{-1t}}{\gamma}$) التى تسمى بالاطاقة النوعية للمادة.

وفى حالات الحنى واللى للعتبات ذات المقاطع الهندسية المتناظرة فان التناسبات الناتجة تكون مخالفة :

فبالنسبة للحنى :

$$\frac{G'}{G''} = \frac{\sigma''^{2/3}_{u\,bend}}{\gamma''} : \frac{\sigma'^{2/3}_{u\,bend}}{\gamma'} \tag{3.2}$$

وبالنسبة للى :

$$\frac{G'}{G''} = \frac{\tau''^{2/3}_{t}}{\gamma''} : \frac{\tau'^{2/3}_{t}}{\gamma'}$$

والمعايير الوزنية للمادة المعرضة للحنى أو اللّى تعتبر النسب $\tau_t^{2/3}/\gamma$ أو $\sigma_{u\,bend}^{2/3}/\gamma$.

اذا قارنا الصيغتين (3.1) و (3.2) ، نجد أنه فى حالتى الحنى واللى فان المتانة العالية تؤثر فى الاقتصاد فى الوزن أقل من تأثيرها فى حالة الشد ، حيث أن المقاطع الاصغر تتسم بعزم مقاومة أصغر. ومن هنا يتضح ان الصيغة (3.2) تنطبق فقط على تلك الحالة التى تكون فيها مقاطع العتبات متطابقة هندسيا.

وللكثير من الاجزاء أهمية خاصة للجساءة.

ففى حالة الشد (أو الضغط) فى العتبات المتساوية الجساءة أى ذات النسبة الواحدة P/λ فان الاوزان ترتبط بالنسبة

$$\frac{G'}{G''} = \frac{\gamma' F'}{\gamma'' F''} = \frac{E''}{\gamma''} : \frac{E'}{\gamma'} \tag{3.3}$$

والنسبة $\frac{E}{\gamma}$ التى توصف نوعية المواد بالنسبة للأجزاء الجاسئة تسمى بالجساءة النوعية. وحيث أن معامل المرونة فى حالة الشد لانواع الصلب يتراوح بين حدود ضيقة (من ٢ × ١٠^٦ الى ٢ر٢ × ١٠^٦ كجم/سم^٢)لذا لا يجب مثلا استخدام أنواع صلب السبائك لاعداد الاجزاء التى تكون الأهمية السائدة بينها هى الجساءة. وسبائك الصلب من بين مواد بناء الماكينات تتمتع باعلى معامل للمرونة (٥×١٠^٦ الى ٦×١٠^٦ كجم/سم^٢) .

ومقدرة المادة على مقاومة تأثير احمال الصدمات توصف بالشغل اللازم لاحداث التشويه المرن. وهذا الشغل المحسوب بالنسبة لوحدة الاحجام في القضيب يساوى تقريبا من منحنى الشد مساحة مثلث ارتفاعه حد التناسب σ_{pr} وقاعدته تساوى التشوه النسبى عند وصول المادة لهذا الحد ($e = \frac{\sigma_{pr}}{E}$). ان الشغل المبذول فى احداث التشوه المرن بالنسبة لوحدة الاحجام فى العتبة (مساحة المثلث) يساوى :

$$\Delta = \frac{1}{2} \sigma_{pr} e = \frac{\sigma_{pr}^2}{2E}$$

ان مساحتى مقطعى عتبتين متساويتين فى متانة الصدمات من مادتين مختلفتين F'' و F' ، ولهما مقطعين متناظرين هندسيا وطولين متساويين تتناسبان عكسيا مع المعامل $\frac{\sigma_{pr}^2}{E}$. والنسبة بين وزنى العتبتين تساوى :

$$\frac{G'}{G''} = \frac{\sigma''^2_{pr}}{E''\gamma''} : \frac{\sigma'^2_{pr}}{E'\gamma'} \tag{3.4}$$

والمعامل $\frac{\sigma_{pr}^2}{E\gamma}$ ـ المتانة النوعية فى الصدمات ـ يوصف مدى ملاءمة وزنى عتبتين من مادتين مختلفتين ومتساويتين بالنسبة للمتانة فى الصدمات.

وعلاوة على ما اوردنا أعلاه من دلائل، يمكن التوصل بنفس الطريقة الى دلائل اخرى غيرها توصف المادة من ناحية الحجم، والتكلفة، والحساسية تجاه تغييرات درجة الحرارة وتأثيرات الطرد المركزى وغيرها.

وفى الجدول (٣ - ١) ترد قيم المتانة النوعية والجساءة النوعية لبعض المواد * وذلك للمقارنة بينها.

---

* ان المواد الحديثة لصناعة الطائرات (فيما عدا اللدائن) ترتب كالتالى بالنسبة لمتانتها النوعية في درجة حرارة الغرفة: سبائك التيتانيوم، والصلب الخاص (Cr, Mo, Mn)، وسبائك الالومنيوم (Zn, Mg)؛ بالنسبة لجساءتها النوعية: الصلب، سبائك الالومنيوم، سبائك التيتانيوم.

الجدول ٣ - ٥

المتانة والجساءة

المادة	النوع	الكثافة $\gamma \times 10^3$ kgf/cm^2	معامل المرونة فى الشد $E \times 10^{-5}$ kgf/cm^2
صلب :			
ذو نسبة الكربون المنخفضة	20	٧ر٨	٢١
كربونى متوسط	45	٧ر٨	٢١
سبائكى	40X	٧ر٨	٢١
صلب	30XΓCA	٧ر٨	٢١
الحديد الزهر :			
الرمادى	СЧ 21 – 40	٧ر٢	١٠
عالى المتانة	ВЧ 40 – 10	٧ر٢	١٥
الديورالومين	Д6Т	٢ر٨	٧ر٥
سبائك المغنسيوم	МЛ4	١ر٨	٤ر٣
خشب البلوط	–	٠ر٥	١ر١
التكستوليت	ЛТ	١ر٣	١ر٠

النوعيتان لبعض المواد

حد المتانة في الشد σ_{ut} kgf/cm^2	المتانة النوعية: في الشد $\frac{\sigma_{ut}}{\gamma} \times 10^{-5}$ cm	المتانة النوعية: في الحني $\frac{\sigma_{u\,bend}^{2/3}}{\gamma} \times 10^{-4}$ cm	الجساءة النوعية في الشد $\frac{E}{\gamma} \times 10^{-8}$ cm	المتانة النوعية في الصدمات $\frac{\sigma_{pr}^2}{E\gamma}$ cm
٤٠٠٠	٥ر١	٣ر٢	٢ر٧	٤١٠
٦٠٠٠	٧ر٦	٤ر٢	٢ر٧	١٠٧٠
١٠٠٠٠	١٢ر٧	٦ر٠	٢ر٧	٣٩٠٠
١٦٠٠٠	٢٠ر٤	٨ر١	٢ر٧	٧٨٠٠
٢١٠٠	٢ر٩	٣ر٥	١ر٤	٢٢٠
٤٠٠٠	٥ر٥	٥ر١	٢ر١	٥٣٠
٤٢٠٠	١٤ر٧	٩ر١٤	٢ر٦	٣٣٠٠
٢٤٠٠	١٣ر٤	٩ر٨	٢ر٤	١٨٥٠
٨٣٠	١٦ر٠	١٤ر٤	٢ر٢	٣٦٠٠
٨٥٠	٦ر٥	١٠ر٠	٠ر٨	١٦٠٠

مبدأ «النوعية الموضعية»

ليس من النادر أن تطلب من الاسطح المختلفة والأحجام في الجزء الواحد متطلبات مختلفة: الصمود للتآكل بالاحتكاك، المتانة الحجمية أو متانة السحق، الجساءة أو الانطواعية، الصمود للتآكل بالصدأ، جودة توصيل الحرارة، المقدرة على اخماد الذبذبة .. الخ.

وتنشأ المتطلبات المختلفة من الظروف المختلفة التي تعمل فيها مختلف أقسام الجزء.

وفي الكثير من الحالات لا يمكن عموما اختيار تلك المادة لتصنيع الجزء، التي تستجيب في نفس الوقت لكافة المتطلبات المطروحة، وحتى اذا كانت هذه المادة موجودة، فانها عادة ما تكون غالية الثمن. وعندما تكون ظروف عمل الاجزاء ليست قاسية بهذه الدرجة، يمكن تحقيق حل وسط، باختيار المواد التي ترضي جزئيا كل المتطلبات الا أننا يمكننا الحصول على الحل الاكثر رشدا وتقدمية بالاسترشاد بمبدأ "النوعية الموضعية". وأفضل طريقة لشرح جوهره هي استعراض أمثلة محددة.

١ - يتطلب الامر من ريش التوربينات الايدرولية أن تتمتع بالمتانة والصمود ضد التآكل بالصدأ. ولكي يحقق هذين المطلبين، تصنع ريش كل التوربينات الضخمة ذات الريش المتحركة حول محورها، من الصلب الذي لا يصدأ والصعب تشغيله والغالي الثمن. الا أنه يمكن هنا اتخاذ حل آخر. فمطلب الصمود ضد التآكل بالصدأ مطروح في الواقع على اسطح الريش وحدها؛ لذا ليس هناك من ضرورة لصنع كل الريشة من الصلب الذي لا يصدأ، اذ انه يمكن صناعتها من الصلب الكربوني أو صلب السبائك الرخيص وبعدها تكسى أسطحها بالواح رقيقة من الصلب الذي لا يصدأ، علما بان وقت تشغيل الريش يقل الى النصف، أما تكاليفها فتقل بنسبة ٣٠ ٪.

٢ - تطرح على المادة التي تصنع منها الاسطح المحتكة للقارنات الاحتكاكية متطلبات عديدة ومتنوعة (أنظر ص). ولا وجود لمادة متجانسة يمكنها أن تستجيب لكافة هذه المتطلبات. وانسب ما يتجاوب معها هي مواد السيراميك المعدني. والتركيب الامثل لخليط من مواد السيراميك المعدني الاحتكاكية على أساس من النحاس هو اكالتالي: النحاس ٦٠-٧٠٪، والحديد ٥-١٠٪، والرصاص ٥-١٥٪ والقصدير ٥-١٥٪، والكاربوروند والكوارتس أو غيرهما من المواد الحاكة ٢٫٥-٧٪ وينحصر دور هذه المكونات فيما يلي:

أ - النحاس يوفر انتقالا جيدا للحرارة ولا يتطلب ضغوطا عالية عند الخبز (في تكنولوجيا ميتالورجيا المساحيق)؛

ب - الصلب والمواد الحاكة تساعد على زيادة معامل الاحتكاك؛

جـ - الرصاص بانصهاره يكون طبقة رقيقة تلعب دور التزييت الذي يحمي الاسطح العاملة من الزرجنة.

وتتميز مواد السيراميك المعدنى الاحتكاكية بقصافة كبيرة. لذلك فانها تلحم بطبقة رقيقة فى حدود ٢ر. مم على أساس جاسئ من الصلب أو الحديد الزهر.

وبهذه الطريقة ، طريقة المزج الاصطناعى لمختلف المكونات يمكن الحصول على جزء تتمتع كل نقطة فيه بالخواص اللازمة.

٣ - خلال السنوات الاخيرة ،على الرغم من زيادة الأحمال التى تنقلها العجلات المسننة ، التى كانت تستعمل لانتاجها أنواع صلب السبائك العالية، فقد أمكن فى الكثير من الحالات استبدالها بصلب كربونى أو صلب منخفض السبائكية. فجسم العجلة المسننة الذى تنفق عليه النسبة الاساسية من وزن المعدن يصيبه كمية ضئيلة من الاجهادات.

أما أسنان الترس فتعتبر العناصر الاكثر تحميلا فيه ؛ لذا يطلب منها صمود عال للتآكل بالاحتكاك ومتانة عالية فى السحق بالنسبة لاسطحها العاملة، وحد اطاقة عال فى الحنى . لذلك تجرى أولا عملية تقسية، على الشكل العامل للأسنان بواسطة تسخينه بالتيار الكهربى عالى التردد ،وثانيا ، عملية زيادة متانة الاسطح عند قاع السن مع ايجاد اجهادات ضغط متخلفة فى هذا المكان بطريقة التقسية بالتشغيل على البارد .

وهكذا يتم هنا أيضا التوصل الى التأثير اللازم بطريقة التغيير الموضعى لخواص وحالة مادة الجزء فى الاتجاه المطلوب .

٤ - فى محركات السيارات المكبسية ،تدخل كراسى محاور عمود المرفق فى عداد أكثر الأجزاء تعرضا للاجهادات الشديدة، التى كثيرا ما تحد من زيادة سرعة المحرك . ولقد تطور وتحسن تصميم جلب هذه الكراسى على الوجه التالى :

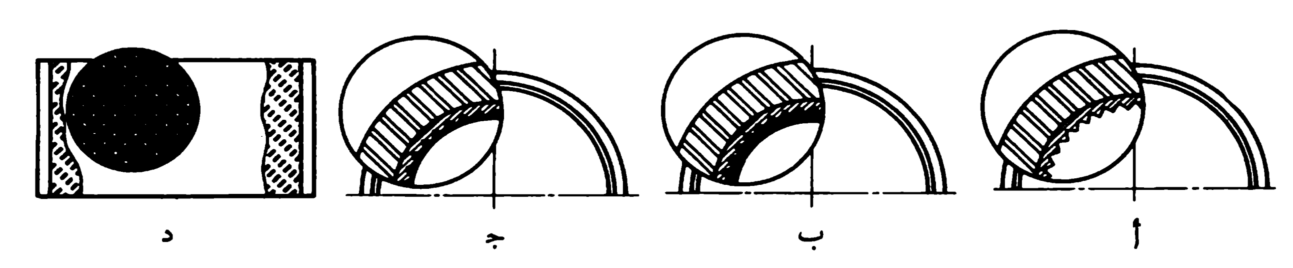
ففى البداية كانت الجلب تصنع باكملها من البرونز القصديرى، وهو أحسن ما كان معروفا فى ذلك الوقت من المواد المقاومة للاحتكاك .

ومع ظهور السبائك الخاصة بكراسى المحاور - البابيت ، التى تتمتع بخواص مقاومة للاحتكاك ،أعلى من البرونز، أخذت تغطى بها أسطح التشغيل فى الجلب البرونزية.

ولكن ،حيث أن دور البرونز أصبح ثانويا فى هذه الحالة، اذ أنه كان عليه أن يكون "كفرشة" للبابيت فقد كان من الممكن استبدال البرونز بصلب الألواح ، وبذلك يكون قد تم الانتقال الهام الى الجلب رقيقة السمك. علما بأن الصلب فى هذه الحالة كان يطلى فى البداية بالنحاس (بطريقة الجلفنة) ، وذلك من أجل التثبيت الأفضل للبابيت عليه .

ولكون البابيت مادة رائعة فى مقاومتها للاحتكاك عند تأثير الاحمال الصغيرة والمتوسطة، فانه غير قادر على تحمل ضغوط كبيرة جدا ولا درجات حرارة عالية جدا . والسبب فى ذلك هو حد الخضوع المنخفض، وحد الاطاقة الصغير للبابيت اللذان ينخفضان بسرعة مع ارتفاع درجة الحرارة. ولهذا السبب تحتم الانتقال الى الجلب من الصلب المكسوة لا بالبابيت بل بالبرونز الرصاصى .

وصفات مقاومة الاحتكاك للبرونز الرصاصى أردا كثيرا مما يتمتع به البابيت، والسبب الرئيسى فى ذلك هو الصلابة الكبيرة للأول، وألغته الاردأ مع زيت التزييت. ولقد أدت متابعة زيادة الضغوط النوعية والسرعات، الى ظهور كراسى المحاور "الشبكية"، التى تنفذ على الوجه التالى: تصب على الصلب طبقة بينية من البرونز الرصاصى. وبعدها تجرى عملية دلفنة (الشكل ٣-١). وعلى السطح الناتج المخدد (ذى المجارى) بهذه الطريقة (الشكل ٣-١، أ) تصب طبقة من البابيت الرصاصى (الشكل ٣-١، ب)، ثم بعدها تجرى عملية



الشكل ٣ - ١

تشغيل ميكانيكى (الشكل ٣-١، جـ المقطع، د السطح). والنتيجة أنه تتكون حفرات مملوءة بالبابيت، تتراوح مساحتها الاجمالية بين ٢٥ ٪ و٦٠ ٪ من المساحة الكلية لسطح الكرسى؛ ويكون سمك طبقة البابيت حوالى ٥ر. مم. وفى حالة عمل الكرسى بدرجات حرارة عالية، يحسن صمود الطبقة العلوية للحرارة بواسطة فلز الانديوم.

وهكذا فان تطور تصميم الجلب قد سار من الجلبة البرونزية الخالصة بسمك ٥ مم، الى الجلبة الشبكية الرقيقة المصنوعة من معادن ثلاثة بسمك ٢ مم. وفى هذا الجسم الرقيق يخصص لكل معدن دور محدد بصرامة وخاص به.

ويمكن أن نستمر فى استعراض مثل تلك الأمثلة. فلقد كان فى الماضى يصنع ماسك قلم القطع (العدة القاطعة)، والجزء القاطع، من قطعة واحدة، أما الآن فيصنع الحد القاطع من رقائق من الصلب السريع القطع او من مواد السيراميك المعدنى، أو السبائك الصلبة ملحومة أو مثبتة ميكانيكيا فى الماسك (جسم العدة القاطعة). وكانت موجهات ماكينات التشغيل تصنع من الحديد الزهر، ثم من الصلب المثبت فى الجسم، أما الآن فتصنع من اللدائن (البلاستيك)، أو من الحديد الزهر المقسى سطحه. وكل هذه مظاهر نفس مبدأ "الصفات الموضعية". ان الوسائل المتنوعة فى التكنولوجيا الحديثة لتشغيل المعادن، وخصوصا الوسائل المختلفة لطلاء السطوح، والمعالجات الحرارية، والكيميائية - الحرارية للمعادن، وزيادة المتانة بالطرق الميكانيكية عن طريق ايجاد اجهادات متخلفة اصطناعيا، كلها تفتح امكانيات واسعة بشكل استثنائى للتأثير الموجه على تصميم الاجزاء بغرض تكوين الصفات المطلوبة فى كل مقطع من مقاطع الجزء بل وفى كل نقطة على سطحه.

ومن بين الوسائل المذكورة، يرتبط جزء كبير منها بمعاملة السطوح. ويفسر

هذا بان كل الاعطاب والتحطمات تقريبا - من التآكل بالصدأ، الى شروخ الكلال - تظهر على اسطح الجزء ثم تتغلغل فى عمقه، منتشر فى كل مقطعه او فى قسم كبير من المقطع. ولذلك يكون من الطبيعى أن تتجه جهود بناة الماكينات نحو حماية الطبقات السطحية، وزيادة متانتها وتغيير خواصها عموما.

ولقد ادت متابعة تطوير مبدأ الصفات الموضعية الى ظهور نوع جديد من المواد، التى يتوقع لها مستقبل باهر والتى تسمى بالمواد المركبة (المواد المؤلفة او المخلوطة ، والمواد المغطاة او المطلية باخرى، والمواد المسلحة . . وغيرها) .

ويجرى فى الوقت الحاضر انتاج بالجملة للمواد المركبة المزدوجة: معدن- معدن ، معدن - لا معدن . كما وتطورت بشكل واسع تغطية (طلاء) مادة ما بآخرى . وتجرى هذه العملية بغية زيادة الصمود للصدأ والتقليل من استخدام المواد الغالية الثمن . ان المواد المغطاة بصفائح من مواد اخرى يمكن الحصول عليها باربع طرق: اللحام بالكهرباء او الاوكسيجين ، او لحام القصدير ، او باللصق، او بالطلاء بالمصهورات. ويسمح اللحام بالكهرباء او الاوكسيجين مع الدلغنة، بتوصيل الصلب الاوستينيتى غير القابل للصدأ بالصلب الكربونى . اما لحام القصدير - ارخص طرائق توصيل المواد الصفائحية المركبة - فيستخدم عمليا بالنسبة لمعادن محددة فقط : الرصاص، النحاس، الشبه ، الصلب غير القابل للصدأ . ويستخدم اللصق فى الحصول على كل مركبات المواد المذكورة اعلاه.

ويلزم للتصميم الرشيد لاجزاء الماكينات، اتقان طرائق المعاملة المذكورة اعلاه .

التقليل من مسميات المواد المستعملة

عند اختيار المادة لاجزاء الماكينة الجارى تصميمها ، يجب ،علاوة على الاعتبارات الاخرى، مراعاة الصعوبة الناجمة عن التموين والانتاج التى تظهر من جراء المسميات الكثيرة المبالغ فيها للمواد المستعملة كما يجب تقليصها بقدر الامكان. ان الحد من اصناف الصلب وغيره من المواد المستخدمة لاعداد اجزاء الماكينات التى ينتجها مصنع واحد يعطى عدة مزايا .

وتنحصر تلك المزايا فى التالى :

أ - تصبح عملية تموين المصنع بالمواد اكثر سهولة واقل تكليفا، حيث ان احجام توريد تلك المواد تزداد ويكون بالامكان شحن الاخيرة الى مصنع بناء الماكينات من مصانع الميتالورجيا مباشرة دون اللجوء الى تحويلها من عربة لاخرى ؛

ب - تسهل عمليات تخزين المواد وجردها (تقييدها)، وتقل المساحات المطلوبة للتخزين فى المخازن ؛

جـ ـ تسهل دراسة وأتقان اكثر انظمة التشغيل نفعا ،علما بان عمل ورش المعاملة الحرارية يسهل بوجه خاص ؛

د ـ تقل العيوب المحتمل حدوثها فى الاجزاء من جراء استخدام مواد غير مناسبة او معاملة حرارية غير مناسبة .

وعمليا يجرى الحد من اصناف المواد المستخدمة عن طريق ايجاد كشوف محددة لاصناف المواد المستخدمة فى المصانع ، وحظر استخدام مواد غير واردة فى هذه الكشوف* الا فى احوال الضرورة القصوى .

---

* حيث ان اصناف الصلب المنتجة كثيرة للغاية : ففى الاتحاد السوفييتى ينتج حوالى ٢٨٠ صنفا من الصلب ، وفى الولايات المتحدة الامريكية ٢٠٠ صنف ،وفى ايطاليا ١٤٠ صنفا .

الباب الرابع

التوصيف القياسى لاجزاء الماكينات

التوصيف القياسى هو وضع معدلات ملزمة يجب ان تتفق معها انواع وبارامترات المصنوعات (وخصوصا ابعادها) ومواصفاتها النوعية. وعلى ذلك يحدد التوصيف القياسى عدد الانواع والابعاد .. الخ للمنتجات المعينة التى تتلخص فى مواصفات قياسية لعدد معين من النماذج. وفى هذا التعريف يجب التفريق بين موقفين : أ) تحديد الخواص التى يجب ان يتمتع بها المنتج المعنى ، ب) تحديد عدد المنتجات والعمليات او الطرائق الى ادنى حد مناسب.

وتوجد فى مختلف البلدان مواصفات قياسية خاصة بذلك البلد (فمثلا تستخدم فى الاتحاد السوفييتى المواصفات القياسية ΓOCT ، وفى المانيا الاتحادية DIN وفى المانيا الديمقراطية IGL)، هذا بالاضافة الى المواصفات القياسية التى يضعها اتحاد الشركات التى تقوم بانتاج مصنوعات متشابهة ، كماكينات قطع المعادن والمعادن الحديدية وغير الحديدية وما شابه ذلك. كما وتوجد ايضا مواصفات قياسية دولية ISO .

ويرتبط بمفهوم وضع المواصفات القياسية مفهوما وضع المعدلات ، والتوحيد القياسى.

ووضع المعدلات هو وضع المواصفات القياسية التى تطبق فى حدود الفرع او المصنع.

وقد يكون السبب فى ذلك هو ضرورة : أ - تقليل انواع الاشياء الموصفة بما يتفق واحتياجات الادارة او المصنع المذكور ؛ ب - مراجعة بعض المؤشرات التى توصى بها مواصفات الدولة القياسية.

والتوحيد القياسى هو ازالة التنوع المفرط للابعاد القياسية وانواع المنتجات (وكذلك مواصفات المصنوعات وطرائق الاختبار) عن طريق تقليص عددها باكثر ما يمكن ، وكذلك استخدام اجزاء ووصلات من ماكينات سبق تصميمها واختبارها فى تصميم الماكينات الجديدة. علما بانه لا تجرى على الاجزاء الموحدة قياسيا اية تعديلات كانت . ويمكن ان يجرى التوحيد القياسى سواء على المنتجات الخاضعة للتوصيف القياسى او غير الخاضعة له.

وللتوصيف القياسى اهمية ضخمة لكل فروع الصناعة الحديثة وخصوصا لبناء الماكينات . اذ لا يوجد فى اى فرع آخر من فروع الصناعة مثل هذا التنوع فى الابعاد النموذجية للمصنوعات التى تقدر الاحتياجات اليها فى بعض الحالات بالاحاد (ماكينات التشغيل الثقيلة الفريدة فى نوعها ، وكذلك

المكابس الثقيلة) ، وفى حالات اخرى، تقدر بالملايين (ماكينات الخياطة مثلا) ، ولا مثل هذا التنوع الواسع فى مسميات المواد المستخدمة، ولا مثل هذا التنوع فى العمليات التكنولوجية المستعملة. والتوصيف القياسى وحده (وكذلك وضع المعدلات والتوحيد القياسى) ، هو الذى يسمح بتصنيع كل الماكينات المطلوبة بسرعة نسبيا وباقتصاد اكبر ، رغما عن هذا التنوع الكبير.

واهمية التوصيف القياسى تنحصر اساسا فى التالى :

١ - ان الوصول بالكميات الكبيرة من مختلف انواع وابعاد الاجزاء المتشابهة (ذات التسمية الواحدة) الى العدد المحدود المناسب منها يسمح بتنظيم الانتاج بالجملة للاجزاء ذات المواصفات القياسية باكثر الطرائق تقدما. علما بان سعة العمل فى صنع الجزء وما يستهلك عليه من مواد ، وبالتالى تكاليفه تقل كثيرا .

٢ - ان وضع مواصفات قياسية للشروط الفنية ولطرائق اختبار اجزاء الماكينات يساعد على تحسين جودتها ورفع مقدرتها على العمل وعمر ادائها .

٣ - ان استخدام الاجزاء الموصفة قياسيا وخصوصا الوصلات يقلل من الفترات اللازمة لتطويع الماكينات الجديدة وسعة العمل فى اعدادها ، حيث لا تكون هناك ثمة ضرورة لتصميم وتصنيع وضبط هذه الاجزاء والوصلات.

٤ - يؤدى وضع الموصفات القياسية الى تسهيل عمليات استخدام الماكينات وذلك بتبسيط لعمليات تصليحها وجعلها ارخص، وجعل تلك العمليات بمقدور المؤسسات غير المتخصصة، حيث ان الاجزاء القياسية المصابة بالاعطال (مثل مسامير اللوالب، والحوابير، وكراسى المحاور، والسيور .. الخ)، يمكن استبدالها باستلام قطع غيارها من المخازن.

وفى مجال اجزاء الماكينات تشمل المواصفات القياسية ابعاد كل اجزاء الربط والتثبيت المنتجة بالجملة، عناصر التعشيقات المسننة والدودية واللولبية، اقطار الاعمدة، البارامترات الاساسية، الشروط الفنية وطرائق اختبار كراسى محاور التدحرج وسيور نقل الحركة وجنازيرها (سلاسلها) ، وكذلك الابعاد الاساسية للبكرات وتروس السلاسل والجنازير المرتبطة بها ، تركيب وتوصيل خطوط الانابيب ، وابعاد (مقاييس) بعض انواع قارنات التوصيل وغيرها .

وتتطلب الاهمية القصوى للمواصفات القياسية فى الاقتصاد الوطنى ، من المصمم ، علاوة على الاستخدام اللازم للمواصفات القياسية المعمول بها والمعدلات ، ايضا خلق الظروف المناسبة امام التوصيف والتوحيد القياسيين للاجزاء والوصلات التى لم تشملها بعد المواصفات والمعدلات القياسية.

وتعتبر الخطوة الاولى فى هذا استعمال الاجزاء والوصلات المستخدمة فى الماكينات الاخرى المصممة والمستعملة فى الانتاج والتى جرى اختبارها فى التشغيل . وتنحصر مهمة المصمم فى ان يستحدث فقط الاجزاء والوصلات الجديدة التى تعتمد عليها انتاجية الماكينة ويسر خدمتها ، وذلك عند اعداد تصميمه الجديد . اما كل الاجزاء والوصلات المتبقية التى لا تؤثر مبدئيا على هذين الدليلين الاساسيين ، فيجب ابقائها حسب درجة الاهمية بدون تغيير. ويفسر استبدال الغالبية العظمى من الاجزاء او كلها

عند الانتقال من تصميم الى آخر ومع ثبات نوع التصميم، عادة بنقص مهارة المصمم وعدم انتباهه وعنايته.

واذا لم يكن من المستطاع لسبب او لاخر استخدام الوصلة الموجودة بكاملها والمناظرة فى وظيفتها فى الماكينة الجديدة، يجب حينئذ تنفيذها بحيث تكون ابعاد توصيل تلك الوصلات على الاقل متساوية لتسهيل وضع معدلات لها فى المستقبل .

وتتاح اوسع الفرص امام التوحيد القياسى وما يتبعه من وضع المعدلات، وعندما يجرى فى وقت واحد تصميم مجموعة كاملة من الماكينات ذات الغرض الواحد او ذات الاغراض المتقاربة ولكنها مختلفة فى ابعادها. علما بانه يصبح من الممكن تكوين مجموعة كبيرة من الماكينات المختلفة استنادا الى عدد صغير من النماذج الابتدائية. والاقتصاد السوفييتى المخطط يتيح فرصا كبرى امام ذلك. وتسمى هذه المجموعة من الماكينات فى الطيران بالفصيلة (مثل فصيلة المحركات) ، وفى بناء الماكينات الكهربية بالسلسلة (مثل السلسلة الموحدة للمحركات الكهربية اللا تزامنية لعموم الاتحاد السوفييتى) وفى بناء الماكينات تطلق على هذه المجموعة تسمية جاما (مثل جاما ماكينات القطع بالماس).

ويوضح تحليل تصميمات مختلف الماكينات أنه على الرغم من تنوعها الظاهر واحيانا اغراضها المختلفة، فانها تتكون من وصلات لها وظائف واحدة من حيث المبدأ. وبصياغة هذه الوصلات تصميميا وتكنولوجيا فى مجمعات مستقلة حسب المعدلات، يمكن الحصول منها على اكثر الماكينات تنوعا ، وذلك باستخدام عدد من مجمعات محدود بصرامة. ومع ذلك يسهل كثيرا فى الوقت نفسه تصميم الماكينات الجديدة، وتقصر دورة التجميع.

وتستخدم فى تطبيق التصميم، بغرض تقييم مستوى التوصيف القياسى لهذا او ذاك من التصميمات ، المعايير التالية * :

درجة استخدام المعدلات (درجة التوصيف القياسى) =

$$= \frac{\text{عدد مسميات الاجزاء الخاضعة للمعدلات (للتوصيف القياسى)}}{\text{عدد مسميات كل اجزاء الماكينة}} \times 100\,\%$$

درجة التوحيد القياسى =

$$= \frac{\text{عدد مسميات الاجزاء (الوصلات) من الماكينات الاخرى}}{\text{عدد مسميات كل الاجزاء (الوصلات) فى الماكينة}} \times 100\,\%$$

---

* ان قياس درجة الخضوع للمعدلات وللتوحيد القياسى بواسطة النسبة بين سعات العمل فى صناعة الاجزاء وليس عدد مسمياتها ، يعتبر قائما على اساس اقتصادى اصح على الرغم من ان هذا القياس اصعب .

واستعمال الارقام المفضلة بتوسع يعتبر اهم ممهدات للتوصيف والتوحيد القياسيين .

والارقام المفضلة : هى مقادير مختارة خصيصا ، يوصى باستخدامها فى كل فروع الاقتصاد الوطني ، مثلا ، ابعاد المصنوعات والمنشآت والقدرات، والحمولات ، وعدد اللفات، وغيرها من المقادير المستخدمة فى الانتاج والمعبر عنها بالارقام. وقد تم وضع على اساس المواصفات القياسية الدولية ، المواصفات للاعداد المفضلة وصفوفها (انظر الجدول ٤ - ١) .

ولنفرض انه يلزم تعيين خمس قدرات للجرارات يمكنها ان تغطى كل احتياجات الزراعة. فاذا استعملنا الصف ٥ من الاعداد المفضلة نجد القيم التالية ١٠ ، ١٦ ، ٢٥ ، ٤٠ ، ٦٣ حصان قدرة. اما اذا أخذ الصف العاشر، نجد القدرات ٥ر١٢ ، ٢٠ ، ٥ر٣١ ، ٥٠ ، ٨٠ حصان قدرة. ووفقا لجدول الاعداد المفضلة، فان حمولات السيارات يجب ان تكون (صف ٥) : ٦ر١ ، ٥ر٢ ، ٠ر٤ ، ٣ر٦ ، ١٠ طن . ولسيارات الشحن القلابة: ٠ر٤ ، ٣ر٦ ، ١٠ ، ١٦ ، ٢٥ ، ٤٠ ، ٦٣ طن. وكلما زاد المنتج من المنتجات ذات الغرض الواحد ، زادت تبعا لذلك اعداد الابعاد النمطية الممكنة. وفى حالة الكميات القليلة يستخدم الصف ٥ من الاعداد المفضلة، ومع زيادة الانتاج بالجملة ينتقل الى الصفوف ١٠ ، ٢٠ ، و ٤٠ .

وعلاوة على الاعداد المفضلة ثمة اهمية كبيرة بالنسبة لبناء الماكينات تعار للمواصفات القياسية لمعدلات الابعاد الطولية (الاقطار ، والاطوال ، وغيرها) ، والمواصفات القياسية لمواد بناء الماكينات والتفاوت (التسامح) والتوافق ، ونعومة الاسطح .

الجدول ٤ - ١

الاعداد المفضلة

الارقام المتسلسلة للصفوف	صفوف الاعداد المفضلة صف ٥	صف ١٠	صف ٢٠	صف ٤٠
صفر	١ر٠٠	١ر٠٠	١ر٠٠	١ر٠٠
١	-	-	-	١ر٠٦
٢	-	-	١ر١٢	١ر١٢
٣	-	-	-	١ر١٨
٤	-	١ر٢٥	١ر٢٥	١ر٢٥
٥	-	-	-	١ر٣٢
٦	-	-	١ر٤٠	١ر٤٠
٧	-	-	-	١ر٥٠
٨	١ر٦٠	١ر٦٠	١ر٦٠	١ر٦٠
٩	-	-	-	١ر٧٠
١٠	-	-	١ر٨٠	١ر٨٠
١١	-	-	-	١ر٩٠
١٢	-	٢ر٠٠	٢ر٠٠	٢ر٠٠
١٣	-	-	-	٢ر١٢
١٤	-	-	٢ر٢٤	٢ر٢٤
١٥	-	-	-	٢ر٣٦
١٦	٢ر٥٠	٢ر٥٠	٢ر٥٠	٢ر٥٠
١٧	-	-	-	٢ر٦٥
١٨	-	-	٢ر٨٠	٢ر٨٠
١٩	-	-	-	٣ر٠٠
٢٠	-	٣ر١٥	٣ر١٥	٣ر١٥
٢١	-	-	-	٣ر٣٥
٢٢	-	-	٣ر٥٥	٣ر٥٥
٢٣	-	-	-	٣ر٧٥
٢٤	٤ر٠٠	٤ر٠٠	٤ر٠٠	٤ر٠٠
٢٥	-	-	-	٤ر٢٥
٢٦	-	-	٤ر٥٠	٤ر٥٠
٢٧	-	-	-	٤ر٧٥
٢٨	-	٥ر٠٠	٥ر٠٠	٥ر٠٠
٢٩	-	-	-	٥ر٣٠
٣٠	-	-	٥ر٦٠	٥ر٦٠

الارقام المتسلسلة للصفوف	صفوف الاعداد المفضلة			
	صف ٥	صف ١٠	صف ٢٠	صف ٤٠
٣١	-	-	-	٦ر٠٠
٣٢	٦ر٣٠	٦ر٣٠	٦ر٣٠	٦ر٣٠
٣٣	-	-	-	٦ر٧٠
٣٤	-	-	٧ر١٠	٧ر١٠
٣٥	-	-	-	٧ر٥٠
٣٦	-	٨ر٠٠	٨ر٠٠	٨ر٠٠
٣٧	-	-	-	٨ر٥٠
٣٨	-	-	٩ر٠٠	٩ر٠٠
٣٩	-	-	-	٩ر٥٠
٤٠	١٠ر٠٠	١٠ر٠٠	١٠ر٠٠	١٠ر٠٠

ملاحظة : يمكن للاعداد الواردة فى الجدول ان تزاد او تقلل بمقادير ١٠ ، ١٠٠ ، ١٠٠٠ ، ١٠٠٠٠ ، ١٠٠٠٠٠ مرة .

الباب الخامس

تكنولوجية أجزاء الماكينات

يعتبر التصميم تكنولوجيا ، اذا ما كان يضمن الدلائل (المؤشرات) اللازمة للاستخدام ، ويتطلب لتنفيذه بذل اقل قدر من الوقت والجهد والموارد فى الظروف المحددة للانتاج .

ولقد ظهر مصطلح "التكنولوجية" قبيل الحرب العالمية الثانية الا انه بدأ الان فقط ينتشر بين المصممين ، على الرغم من ان بناة الماكينات كانوا يتطلعون دائما للوصول الى التصميمات الاقتصادية. ويمكن تفسير ذلك بان الرابطة بين تصميم الماكينة ومدى اقتصادية صنعها كانت فى حينه ابسط كثيرا مما هى عليه الان. اذ ان الامكانيات التكنولوجية التى كانت فى حوزة صناعة بناء الماكينات فى العشرينيات والثلاثينيات، كانت بدائية، اما مصنفات المواد ووسائل تغيير خواصها فكانت محدودة ، واخيرا كان حجم المنتج من الماكينات فيما عدا بعض الماكينات الاستثنائية، صغيرا لدرجة انعدم معها عموما الاختلاف الملموس بين التصميمات لمختلف نطاقات الانتاج .

وعندما كانت توجد لتشغيل هذا الجزء او ذاك ، طريقة (عملية) واحدة فقط ، كان يفهم من التكنولوجية ، امكانية صنع الجزء المرسوم عموما ، وكذلك امكانية تجميع الوصلات او الماكينات. اما فى الوقت الحاضر ، فتوجد عدة حلول للتشغيل من اجل اعطاء الجزء الشكل المطلوب ، وتختلف هذه الحلول فيما بينها تبعا لمبدأ التشغيل ، والمعدات والعدد والآلات. ويمكن صنع الكثير من الاجزاء المتشابهة من حيث الوظيفة ، من مواد مختلفة. كما انه يمكن اعطاء خواص مختلفة للاجزاء حتى المصنوعة من نفس المادة ، وذلك بواسطة المعاملات الكيميائية الحرارية او عن طريق زيادة المتانة ميكانيكيا ، او الطلاء بمواد خاصة.

وتتغير نطاقات انتاج الماكينات من الاحاد (مثل الماكينات الخاصة والتجريبية) الى نطاق الانتاج بالجملة التى تصل فيها اعداد الاجزاء المنتجة بمئات الآلاف سنويًا (مثل ماكينات تصنيع المواد الاستهلاكية) . ومن المفهوم انه فى هذه الظروف يصبح جعل التصميم تكنولوجيا ، اصعب بكثير مما كان عليه الحال منذ ٢٠ - ٣٠ عاما مضت . فمن اجل حل هذه المسألة يحتاج المصمم الى التعاون الدائم مع التكنولوجيين (مهندسى الانتاج) ، واختصاصيى السباكة والحدادة واللحام وغيرهم من الاختصاصيين والى الاستعانة بهم.

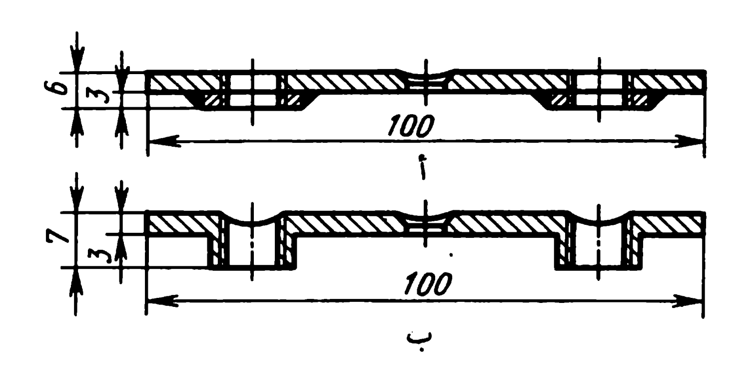
ونورد ادناه المتطلبات الاساسية التى تطرح على تصميمات اجـــــزاء الماكينات بالنسبة لتكنولوجيتها :

١ ـ تمشى التصميم مع نطاق الانتاج وظروف الانتاج . ومن التعريـــف الذى اوردناه يتضح عموما ان مفهوم "التكنولوجية" لا ينفصل عن ظـروف الانتاج . اذ ان التصميم الذى يتصف بالتكنولوجية فى ظروف محددة ، وخصوصا مع نطاق معين للانتاج ، يحتاج ،كقاعدة عامة، الى اعادة النظـــر فيه ، وفى بعض الحالات، الى اجراء تعديلات جذرية عليه ، وذلك عند الانتقال الى نطاق آخر للانتاج ، وبالتالى ، الى تنظيم آخر للانتاج .

فمثلا ، اذا كان من الضرورى صنع ثقوب متحدة المحور فى جدران جسم وذلك لتركيب الاعمدة وكراسى التحميل ، فانه لا بد وان يظهر السؤال التالى: اى وضع لهذه الثقوب سيكون اكثر تكنولوجية ؟

وسوف تكون الاجابات على هذا السؤال مختلفة تبعا لنطاق الانتـــاج والطريقة المتبعة للتشغيل . ولنفرض انه فى حالة الانتاج بالقطعة يجرى صنع الثقوب، حسب طريقة التعليم (الشنكرة) ، بواسطة ماكينة تجويف افقية، فى عملية واحدة باستخدام شياقات تجويف (قضبان تجويف) اعتيادية، مـــع تغيير اقلام القطع وموسعات الثقوب ، وفى حالة الانتاج المتسلسل (بالدفعات) ، فان هذه العملية تجرى على ماكينة تجويف افقية باستخدام دليل التشغيل ، ومجموعة خاصة من الشياقات والعدد اللازمة مضبوطة حسب مقاسات الثقوب ، مع الجمع الاقصى لعمليات تشغيل الثقوب بمختلف الاقطار . اما فى حالـــة الانتاج بالجملة فتجرى عملية التجويف على ماكينة تجويف خاصة متعـــددة المحاور من الجهتين ذات تصميم موحد ، مع استخدام عدد (ادوات) قطع مركبة ومن هنا يتضح ان موضع الثقوب الذى يمتاز بتكنولوجيته بالنسبــــة لطريقة ما من طرق التشغيل ، يمكن ان يصبح غير نافع بالمرة فى طريقـــة اخـــرى .

وهناك مثال عملى اخر . ففى قارنات الاطارات الهوائية تستخدم لوحات من صفائح بسمك ٣ مم . وكانت هذه القارنات تصنع فى البداية بسرعتيــن ملحومتين ملولبتين من الداخل (الشكل ٥ ـ ١ ،أ) ، وعندما زاد الاحتياج



الشكل ٥ ـ ١

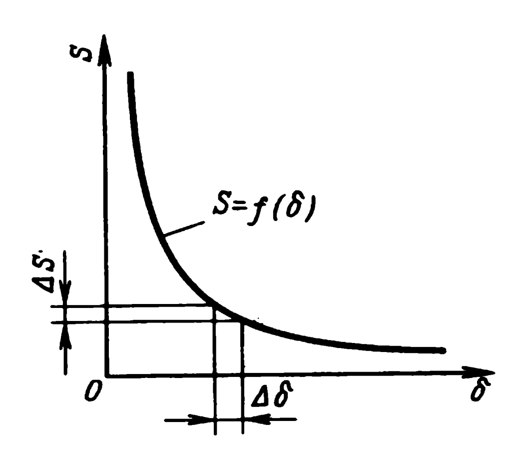
لهذه اللوحات الى ان وصل الى عشرة الاف قطعة تقريبا فى الشهر، تحتم تغيير التصميم - باستخدام التشكيل بالكبس مع فلطحة السرتين فى الوقت نفسه (الشكل ٥ - ١ ، ب)، واصبحت سعة العمل فى حالة التشكيل بالكبس اقل من حالة اللحام بحوالى ٦٧ مرة (٥ر٠٤ دقيقة بدلا من ٣٠).

وهكذا، فانه لا وجود للتصميمات التكنولوجية بمعزل عن الظروف الانتاجية المحددة. ولا يمكن تقييم مدى تكنولوجية الجزء بدون اخذ مدى تكنولوجية الماكينة ككل فى الاعتبار . وقد يؤدى تسهيل عملية تشغيل الجزء الى تعقيد تجميع الماكينة او تصليحها فيما بعد وينفى تماما الفائدة التى يمكن الحصول عليها من جراء تحسين تكنولوجية الجزء.

وتعتبر المتطلبات الواردة ادناه والتى يجب ان تستجيب لها تكنولوجية الجزء متطلبات عامة، فهى تنطبق على كل ظروف الانتاج .

٢ - بساطة التصميم وملاءمته . التصميم البسيط هو تصميم الماكينة باستخدام اقل كمية ممكنة من الاجزاء البسيطة التى تتمتع بادنى وزن ويتم صنعها وتجميعها باسهل الطرق وابسطها . ومن المستحسن عند اعطاء الاجزاء الاشكال التصميمية، استخدام اكثر السطوح بساطة (سطوح اسطوانية ومستوية) والجمع بينها . ويجب فى الوقت نفسه، السعى للحصول على اقل عدد من السطوح الواجب تشغيلها وعلى ادنى مساحة لها.

٣ - دقة تشغيل السطوح ونقاوتها : على الرغم من ان دقة التشغيل المتوسطة قد زادت خلال الخمسين عاما الاخيره بما يزيد عن الاربعة اضعاف، اما الحد الاقصى لها فهو ١٠ مرات ، اذ قل مقدار التسامح من ٠٢ر٠ حتى ٠٠٢ر٠ مم)، فان رفع درجة الدقة لا بد وان يؤدى الى زيادة حجم العمل وتكاليف الانتاج . ولقد ثبت أنه بالنسبة لغالبية عمليات التشغيل ، يكون منحنى العلاقة بين تكاليف التشغيل (S) والدقة المطلوبة (التسامح فى الانتاج δ)، شبيها بالقطع الزائد (الشكل ٥-٢) :



الشكل ٥ - ٢

فمع التقليل من مقدار التسامح وخصوصا فى منطقة التسامحات القليلة، تزيد تكاليف التشغيل زيادة سريعة .

ولذلك ،فلا داعى للسعى الى الحصول على الدقة المرتفعة ما لم اسباب كافية ، الا انه لا يجب ايضا تخفيض الدقة عندما تكون الاخيرة ضرورية بالفعل ،نتيجة لظروف عمل الجزء .

كما ان المتطلبات الخاصة بنقاوة اسطح الجزء يجب ان تكون هى الاخرى متفقة والظروف الحقيقية التى يعمل الجزء فيها . اذ ليس هناك ما يدعو للمطالبة بنقاوة للاسطح تزيد عن الحد اللازم، لان الحصول عليها مرتبط باجراء عمليات انجازية باهظة التكاليف ،بالاضافة الى استخدام معدات خاصة. فمثلا ،تزيد تكاليف عملية صنع مسمار ذراع التوصيل بخشونة للسطح لا تزيد عن ٤ر٠ ميكرون بنسبة ٢٢ ٪ عن تكاليف صنع المسمار اذا كانت خشونة سطحه ٨ر٠ ميكرون ،اما المسامير التى لا تزيد خشونة سطحها عن ١ر٠ ميكرون ، فان تكاليف عمليات صنعها تزيد عن الاولى بنسبة ٣٨ ٪ .

والدرجة المطلوبة لنقاوة السطح تبين على الرسومات برموز تم تنظيمها وفق المواصفات القياسية المعمول بها فى الاتحاد السوفييتى (انظر الجدول ٥ - ١).

الجدول ٥ - ١

خشونة الاسطح

درجة النقاوة	الرمز	المتوسط الحسابى للإنحراف فى الشكل بالميكرونات R_{ar}	ارتفاع عدم الانتظام بالميكرونات R_z
١	∇ 1	(٨٠)	٣٢٠
٢	∇ 2	(٤٠)	١٦٠
٣	∇ 3	(٢٠)	٨٠
٤	∇ 4	(١٠)	٤٠
٥	∇ 5	(٥)	٢٠
٦	∇ 6	٥ر٢	(١٠)
٧	∇ 7	٢٥ر١	(٣ر٦)
٨	∇ 8	٦٣ر٠	(٢ر٣)
٩	∇ 9	٣٢ر٠	(٦ر١)
١٠	∇10	١٦ر٠	(٨ر٠)
١١	∇11	٠٨ر٠	(٤ر٠)
١٢	∇12	٠٤ر٠	(٢ر٠)
١٣	∇13	(٠٢ر٠)	١ر٠
١٤	∇14	(٠١ر٠)	٥ر٠

ملحوظة : ١ - للدرجات من ٦ الى ١٢ يعتبر المقياس R_{ar} هو الاساس، اما بالنسبة للدرجات من ١ - ٥ و ١٤ فيكون المقياس هو R_z .

٤ - وسيلة الحصول على الغفل . تعتمد تكنولوجية الجزء ككل وبدرجة كبرى على الغفل : على مادته وطريقة الحصول عليه. وتكون تكاليف التشغيل بواسطة القطع (ازالة الرايش) اكبر بكثير من تكاليف التشغيل بالكبس او بالسباكة. وعلاوة على ذلك فهو مرتبط بمقدار المادة المستهلكة التي تتحول الى رايش . ولذلك يسعى الى تحويل القسم الاساسي من العمل لتشكيل الاجزاء من الورش الميكانيكية (ورش التشغيل بالقطع) الى ورش تجهيز الغفول. ويجب ان يكون شكل وابعاد الغفل قريبة بقدر الامكان من شكل وابعاد الجزء الجاهز ، وذلك كي يتبقى للتشغيل بالقطع فقط عملية التشطيب النهائي للاسطح التي تحتاج الى دقة او نقاوة خاصة.

وتعتبر الانواع الاساسية من الغفول المستخدمة في بناء الماكينات هي : المدلفنات العادية او الخاصة ، المطروقات الناتجة من الطرق الحر ، الغفول المكبوسة على الساخن والبارد ، الغفول المسبوكة بما في ذلك السباكة في القوالب الحديدية سواء تحت الضغط ام بالقوة الطاردة المركزية وغيرها . ان كل نوع من هذه الانواع يطرح على تصميم الجزء متطلباته في التكنولوجية .

٥ - التشغيل الميكانيكي : ما زال التشغيل الميكانيكي يشكل نسبة عالية من مجموع الجهد المبذول على صنع اجزاء الماكينات. وقد تعرضنا اعلاه الى بعض طرق تخفيض حجم العمل في التشغيل الميكانيكي (الشكل المناسب البسيط ، صحة دقة التشغيل ونقاوته اللازمة، الغفل الذي يتطلب ادنى حد من التشغيل). وعموما فان الجزء الذي يكون فيه حجم التشغيل الميكانيكي اقل ما يمكن يعتبر تكنولوجيا . اما في الحالات المحددة فان متطلبات التكنولوجية متعددة بالنسبة للتشغيل الميكانيكي .

وفي بعض الاحيان يتحدد شكل اسطح التشغيل (الاسطح العاملة) في الاجزاء بواسطة طرائق التشغيل عالية الانتاجية. فمثلا تعتبر الاسطح الاينفوليوتية الشكل معقدة بدرجة كبيرة من وجهة النظر الهندسية، ويكون من الافضل تجنبها اذا ما جرى السعي الى التوصل الى اشكال ابسط. الا ان اسطح الشكل الاينفوليوتي يمكن الحصول عليها اوتوماتيكيا وبانتاجية عالية وبدقة عالية ايضا بطريقة الدلفنة (الدلفنة، الحني) . ولذلك ففي الوقت الحالي تنفذ على شكل اينفوليوتي لا اشكال اسنان العجلات المسننة فحسب، بل ايضا وبشكل متزايد اسنان قارنات التعشيق المسننة، والقارنات الصليبية والاعمدة المسننة (المشقوبة) . وسن القلاووظ المستطيل بسيط في شكله ويتسم بادنى فقد على الاحتكاك بالمقارنة مع اسنان القلاووظ ذات الاشكال الاخرى، الا انه غير موصف قياسيا ولا يستخدم تقريبا ، حيث انه لا يمكن انتاجه بطريقة التفريز، التي تعتبر اكثر الطرق انتاجية. اما قطعه على مكنة الخراطة وقطع القلاووظ فيكون اغلى من قطع اسنان القلاووظ ذات المقطع شبه المنحرف او المثلث .

وخصائص المتطلبات المختلفة للتكنولوجية نوضحها بمثال الصياغة التصميمية للاعمدة .

١ - قطر الفغل وكمية الرايش المزال اثناء عمليات التشغيل يجب ان يكونا اقل ما يمكن . ويجب ان يكون الفرق بين قطر الاقسام العاملة الاساسية فى العمود وبين مدرجاته، اقل ما يمكن بقدر الامكان، ويجب تعيين القطر الاكبر فى العمود (قطر اكبر مدرجاته) بحيث يساوى قطر الفغل (القضيب).

٢ - يجب ان يكون عدد مدرجات العمود اقل ما يمكن . اذ ان مدرج من مدرجات العمود عند التشغيل على المخارط وماكينات التجليخ يتطلب انتقالا اضافيا وعدة قياس جديدة.

٣ - يجب اختيار اطوال قطاعات العمود المختلفة الاقطار متساوية بقدر الامكان. وعند مراعاة هذه القاعدة، يمكن تشغيل العمود على ماكينات التشغيل ذات اقلام القطع المتعددة باكبر انتاجية ممكنة .

٤ - يجب مراعاة وجود قنوات بين القطاعات وذلك لخروج حجر التجليخ، اذا ما دعى الامر الى تجليخ اسطح هذه المدرجات .

ويجب فتح هذه القنوات فقط فى الحالات المسموح بها وفق شروط المتانة عند حساب العمود على حد الاطاقة.

٥ - اقصى حد من توحيد انصاف اقطار التدوير (اعطاء الجزء شكلا دائريا). ويقل بهذا عدد اقلام القطع الدائرية المستخدمة وعدد مرات تغييرها .

٦ - الحد الاقصى لتوحيد عرض مجارى الخوابير . اذ ان تغيير عرض مجرى الخابور مرتبط بتغيير العدة القاطعة ، وبالتالى بفقد فى الوقت .

٧ - بدلا من الخوابير المنشورية تستخدم الخوابير القطعية (الخوابير الدائرية - خوابير وردات). اذ تحتاج الخوابير المنشورية الى عملية ضبط على حين ان الخوابير القطعية لا تحتاج لذلك.

٨ - يفضل ترتيب مجارى الخوابير كلها على رواسم واحدة من العمود . ويسمح ذلك بفتح كل المجارى على ماكينات تغريز مجارى الخوابير فى وضع واحد .

كما ان عمليات التوصيف القياسى والمعدلات القياسية والتوحيد القياسى تسرى ايضا على المتطلبات الاساسية لتكنولوجية اجزاء الماكينات .

الباب السادس

الأسس الاقتصادية فى تصميم أجزاء الماكينات

ان المتطلبات والمقاييس التى اوردناه كل على حدة، لا تكفى بعد لتحديد تصميم وشكل وابعاد اجزاء الماكينات. ويتعلق هذا بكل المتطلبات، حتى ما يبدو منها للوهلة الاولى منطقيا مثل كفاية المتانة الكافية.

ولكن ماذا نعنى بالمتانة الكافية؟ ان اجزاء الماكينات على النقيض من الكثير من التصميمات الانشائية، لا يجب عليها ان تحتفظ بمتانتها عند اية احمال يمكن ان تواجهها اثناء الاستخدام ويمكن ان يغير فى الماكينة الجزء المكسور، او ان يجرى تركيب جهاز خاص لحماية الاجزاء من الاحمال الزائدة. وعلى ذلك يمكن للمصمم عند تصميمه الماكينة ان يختار احد الحلول التالية:

أ - تعيين ابعاد الاجزاء بحيث لا يحدث كسر عند وجود الاحمال القصوى عند استخدام الماكينة بما فى ذلك الاحمال النادرة، التى يحتمل وجودها عند الظروف الاستثنائية وغير المناسبة بنوع خاص،

ب - تعيين ابعاد الاجزاء الكافية فقط لتحمل الاحمال التشغيلية الاعتيادية، مع افتراض ان الكسر يجب ان يحدث عند وجود الاحمال القصوى التى يوجد احتمال كبير لحدوثها،

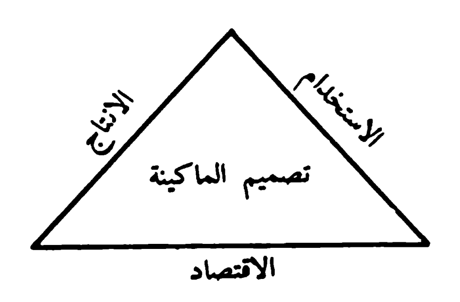
جـ - تعيين ابعاد الاجزاء بنفس الطريقة السابقة مع تزويد الماكينة بجهاز وقاية يستبعد امكانية حدوث الكسر.

ولكن اى هذه الحلول يفضل ؟ ففى الحالة الاولى تصبح الماكينة المصممة ثقيلة وزنا، وغالية ثمنا، الا انها لا تتعرض لكسور اثناء الاستخدام وبالتالى، فلا يكون هناك داع لبذل جهود لتفادى تلك الكسور، وفى الحالة الثانية تقل كتلة الماكينة وتكاليفها، ولكن تظهر التعطلات وتبذل الجهود لتصليح واستبدال الاجزاء المكسورة، وفى الحالة الثالثة يزيد وزن وتكاليف الماكينة قليلا عن الحالة الثانية (وذلك بسبب ادخال الجهاز الواقى)، ولكن مع ذلك تقل كثيرا فترات التعطل وتكاليف ازالة آثار التعطل والكسور.

ومن الواضح انه عند اختيار اكثر الحلول رشدا فى الظروف المعنية، يتطلب الامر اجراء حسابات مناسبة - تقارن فيها مميزات وعيوب الحلول موضع المقارنة. والحسابات التى تشترك فيها القيم الاقتصادية جنبا الى جنب مع المقادير الغنية - مثل المصروفات من المواد وطاقة العمل، وغيرها تسمى بالحسابات الاقتصادية الغنية. وتجرى مثل هذه الحسابات بصورة مفصلة، فقط فى احوال الاعمال الاكثر اهمية. اما فى الحالات الاخرى

فتستبدل بادخال الاجهادات المسموح بها او معاملات الامان فى الحساب، تلك القيم المستقاة من خبرة استخدام الماكينات المناظرة فى الظروف المشابهة. ولكن المسألة لا تهمل بهذا الشكل، وانما فقط تتغير طريقة حلها.

والحالة الموصوفة اعلاه تعتبر حالة نمطية بالنسبة لغالبية المسائل التى تظهر عند تصميم الماكينات. ومثلما تتناقص متطلبات الوزن الادنى والتكاليف الاقل فى مصنع الماكينة، تتناقص ايضا متطلبات درجة الامان فيها، كما وان فى الكثير من المسائل الاخرى، تدخل ظروف انتاج الماكينات فى تناقض مع ظروف استخدامها. ويمكن ان نتصور متطلبات الاستخدام ومتطلبات الانتاج كضلعى مثلث (الشكل ٦ - ١). ومثلما لا يحدد الضلعان المثلث، لا يمكن



الشكل ٦ - ١

لمتطلبات الانتاج والاستخدام ان يحددا تصميم الماكينة اذا ما أخذا وحدهما. ويعتبر الاقتصاد هو الضلع الثالث الذى يكمل مثلث العوامل المتبادلة التأثير. واذا ما أخذنا فى الاعتبار الاقتصاد يمكن عند ذلك فقط ان ندرك سبب المحاولات العنيدة للتوصل الى نتائج طيبة بنوع خاص تؤدى بالكثير من الافراد وحتى فى بعض الاحيان بالكثير من البلدان الى حلول تصميمية واحدة.

ومع تطور التكنيك ترتفع بشدة اهمية الحسابات الاقتصادية ـ الغنية فى كل فروع الاقتصاد الوطنى وخصوصا فى بناء الماكينات. فكان فى الماضى هناك نوع واحد لقاطرات السكك الحديدية ـ القاطرة البخارية، اما الان فيوجد بجانب القاطرة البخارية القاطرة الحرارية (الديزيل)، والقاطرة الكهربية، والقاطرة التوربينية الغازية، وبالنسبة لوسائل نقل الحركة من المحرك الى الاعضاء العاملة فى الماكينة، يستخدم بتوسع اليوم، علاوة على الوسائل الميكانيكية الخاصة (مثل الاعمدة، والسلاسل والجنازير، والعجلات المسننة وما الى ذلك) التى كانت تستخدم فى الماضى، ايضا وسائل نقل الحركة، الكهربية، والايدرولية، والهوائية، كما يستخدم الان بجانب الوصلات الدائمة التى كانت معروفة فى الماضى (البرشام)، وصلات المسامير الملولبة عالية المتانة، ووصلات اللحام، ووصلات اللصق بالمواد اللاحقة، وكذلك مختلف الوسائل المختلفة الميكانيكية وباللصق. ومثل هذه الحلول توجد فى اى فرع من فروع التصميم والانتاج واستخدام الماكينات.

ومع التطوير اللاحق للتكنيك، سوف يزيد عدد هذه الطرائق المنوعة. وفى هذه الظروف يصبح اختيار حل من بين عدة حلول ممكنة، يكون الاحسن،

وافضل الحلول بالنسبة لكل حالة معينة ، مهمة اقتصادية فنية ملحة، يتطلب حلها اجراء تحليل مناسب وحسابات وتدعيم بالبراهين .

ويجرى وضع مشاريع الماكينات وكذلك اية منشآت بطريقة التقريب المتتابع التى تعتبر اكثر الطرائق عمومية لعملية التصميم كلها . ويمكن التعبير عن ذلك بعملية التصميم، ابتداء من اعداد المقترحات الفنية والواجبات وحتى وضع رسومات التشغيل تنقسم الى عدة مراحل متتالية، يكون عددها اكبر، كلما كان تصميم الماكينة اكثر تعقيدا وابتكارا .

ومع الانتقال بصورة تدريجية من احدى مراحل التصميم الى المرحلة التالية يجرى تدقيق البارامترات، وتتضح تصاميم الاجزاء والوصلات فى الماكينة، ثم الماكينة ككل . وتنفذ الحسابات الاقتصادية الفنية فى كل مراحل التصميم، وكذلك بعد تنفيذ المشروع ثم خلال بعض الوقت بعد ادخال الماكينة فى الانتاج والاستخدام . ومن البديهى ان الجانب المبدئى لتلك الحسابات فى كل مراحلها يبقى دون تغيير، ولكن ان ما يتغير هو محتواها وطريقتها فقط .

ولاجراء الحسابات الفنية الاقتصادية فى المراحل الاولى من التصميم اهمية خاصة ، عندما لا توجد سوى رسومات تخطيطية وكذلك عندما تكون البارامترات الاساسية فقط معروفة (بالتقريب) . ويعتبر العدد الكبير من الحلول التى تختلف فى المكونات العامة للماكينة ومبادىء وانظمة عملها ، من الخصائص المميزة للمراحل الاولى للتصميم . ويجب ان يتم التوصل الى النتيجة بسرعة . والحسابات المطولة التى يعتقد انها توصل الى دقة عالية، هى ليست ذات معنى ، فالمعطيات الاولية الاساسية فى هذه المرحلة معروفة بالتقريب فقط . ومن الافضل ان تجرى هذه الحسابات من قبل واضعى المشاريع والمصممين ، ولا من قبل العاملين فى المجموعات الخاصة بوضع الاسس الاقتصادية . ويجب ان يكون دور المجموعات فى هذا القسم منحصرا فى وضع طريقة الحسابات والاهم من ذلك فى اعداد المعدلات الضرورية . ان اجراء بعض الحسابات الفنية الاقتصادية من قبل المصممين له اهمية مساعدة ضخمة . فجوهر المعالجة الاقتصادية بالنسبة للمصمم ينحصر فى البحث عن اكثر التصاميم رشدا للماكينة مع الاخذ بنظر الاعتبار مجموع كافة خطوات الانتاج والاستخدام . وفى ظل ظروف الدولة الاشتراكية، تعتبر المعالجة الاقتصادية مراعاة الدولة ايضا .

وفى السنوات الاخيرة، أخذت ضرورة تنفيذ الحسابات الفنية الاقتصادية تفرض نفسها فى المراحل المبكرة اكثر فى عملية التصميم، من وجهة نظر هامة اخرى . فاذا ما كان دور الحسابات الاقتصادية ينحصر بالنسبة لكل الماكينات فى اختيار البارامترات والحلول التصميمية ودعمها بالمسببات، فان الحسابات الاقتصادية لماكينات التشغيل الخاصة والخطوط الاوتوماتيكية، يجب ان تبين ما اذا كانت هذه الماكينات ضرورية عموما ام لا ، وبمعنى آخر ، هل تجدر مواصلة التصميم ام يجب ايقافه حيث ان هذه الماكينات سوف لم تكون مربحة من وجهة نظر المهام المطروحة امام المؤسسة او الفرع من فروع الاقتصاد الوطنى .

وطريقة الحسابات الفنية الاقتصادية معروفة بالتفصيل فى منهج "اقتصاد بناء الماكينات" الذى يدرس حسب المنهج المدارسى المعمول به بعد منهج "اجزاء الماكينات". ولذلك نعرض ادناه باختصار وبدون براهين بعض القوانين التى يمكن ان يحتاج اليها عند تنفيذ مشاريع نهاية العام الدراسى فى علم "اجزاء الماكينات" واللازمة لفهم جوهر الحساباتالاقتصادية والاسس القائم عليها اختيار وتصميم اجزاء الماكينات.

ومن بين الانواع المختلفة من الحسابات الفنية الاقتصادية التى تستخدم فى التطبيقات التصميمية للمصمم، يحتل تعيين الفعالية الاقتصادية للحلول المختارة مكانا بارزا.

وعلى العموم، يعتبر الحل ذا فعالية، اذا ما ساعد على خير وجه على حل المهام المطروحة امام الاقتصاد الوطنى على الفرع المعنى من فروع بناء الماكينات ومؤسساته المختلفة او ماكينة بعينها.

ويمكن لهذه المهام ان تكون مختلفة : خفض وزن الماكينة او استهلاكها من المواد النادرة خصوصا، وصنع الماكينة باسرع ما يمكن، واكبر درجة ممكنة لعمل الماكينة دون اعطال فى الاستخدام، واقل حد ممكن من التكلفة فى صنعها وما الى ذلك.

وبالنسبة لكل فروع الاقتصاد الوطنى تعتبر زيادة انتاجية العمل من الدلائل (المؤشرات) الاساسية. ولذلك يكون من بين مختلف الحلول، ذلك الحل الذى يوفر الانتاجية الاعلى، هو الحلول فعالية.

وتعتبر تكلفة المنتجات، معيارا لما ينفق من العمل الاجتماعى وعلى ذلك يعتبر الحل هو الاكثر فعالية اذا كان يضمن اقل مقدار من تكلفة المنتجات مع ثبات باقى الظروف.

ولكن انشاء الماكينة مرتبط بمصروفات ابتدائية. وتتحدد الموارد التى فى حوزة البلاد والمخصصة لهذه المصروفات بواسطة خطة الدولة لتنمية الاقتصاد الوطنى، وعموما هى موارد محدودة. ولذلك يجب ان يكون السعى للتوصل الى اقل قيمة للتكاليف ملائما للاستخدام الانفع للموارد على المصروفات الابتدائية.

ومثلا، نفترض ان لدينا حلين متماثلين يختلفان فيما بينهما من حيث المصروفات الابتدائية K_2 و K_1 ، يرتبط تحقيقهما بهما، وان مصروفات التشغيل السنوية لكل منهما C_1 ، C_2 . ويجب ان نختار افضل الحلين. فعندما يكون $K_1 < K_2$ ، وفى الوقت نفسه $C_1 < C_2$ فان الحل واضح لا خلاف فيه. اذ ان الحل الاول هو الاحسن، حيث انه مع تمتعه بمصروفات تشغيل اقل، لا يحتاج الا الى استثمارات ابتدائية اقل.

ويعتقد الاختيار عندما يكون مثلا $C_1 > C_2$ و $K_1 > K_2$.

اذن اى الحلين نختار فى هذه الحالة ؟

ان المقارنة بين المصروفات الابتدائية ومصروفات التشغيل مستحيلة، حيث ان الاولى (K) يعبر عنها بالروبلات، والثانية (C) بالروبلات سنويا.

وفى الحالات المناظرة، تحول المصروفات الابتدائية الى مصروفات تشغيل تم تجمع عليها وتلى ذلك المقارنة :

$$E_1 = C_1 + RK_1; \quad E_2 = C_2 + RK_2 \tag{6.1}$$

وتعطى الافضلية للحل الذى يتمتع باقل قيمة للمصروفات المحولة (E_{min}). ومعامل التحويل R (١/سنة) - هو معامل مقنن للفعالية الاقتصادية.

وقيم المعامل R تحددها لجنة الدولة للتخطيط فى الاتحاد السوفييتى وهو فى حدود من ١٤ر٠ (صناعة الميتالورجيا وتوليد الطاقة) حتى ٣٣ر٠ (بناء الماكينات والصناعات الكيماوية). ولنلاحظ انه من وجهة النظر المبدئية فان القيمة (R) لكل فروع الاقتصاد يجب ان تكون واحدة، وان القيم الموضوعة المختلفة هى قيم مؤقتة وهى انعكاس لما نجم فى السنوات الماضية من ظروف خاصة لتحديد الاسعار.

وعلى ذلك فان الحسابات الفنية الاقتصادية عند اختيار الحلول تؤدى الى تحديد المقادير C_i ، K_i ، E_{min} لكل الحلول موضع المقارنة. وتوضح خبرة استعمال هذه الحسابات ان استخراج القيم (K, C) هو اصعب الاعمال واطولها . وتفسر كثرة وقوع الاخطاء فى ذلك بانه كثيرا ما لا تؤخذ كل المصروفات المميزة اكثر او الاكثر اهمية فى الحلول موضع المقارنة فى الظروف المعطاة او تؤخذ بعض المصروفات التى لا تتصف بذلك. ويعتبر هنا من غير الممكن اعطاء توصيات لكل الاوضاع والحسابات التى يمكن ان تقابل . وسنورد مثالا لتصوير مثل هذه الحسابات .

مثل : المطلوب اختيار محول ميكانيكى للسرعات يكون الامثل اقتصاديا، بغية نقل قدرة نافعة N تساوى ٣ كيلووات، وسرعة (على محور الخرج) n = ٤٥ لفة/دقيقة. ونسبة تخفيف السرعة للمحولات الميكانيكية موضع المقارنة متساوية i = ١٦ ، وعمر المحول حتى استبداله T = ٨ سنوات ، والمخفف يجب ان يعمل عدد ساعات H = ١٢٠٠ ساعة سنويا.

ومعامل تحويل المصروفات R = ٣ر٠ ، وثمن الطاقة الكهربية هى ٤ر١ كوبيك لكل كيلووات ساعة. ويمكن تحقيق عملية نقل القدرة بواسطة محول (مخفض) للسرعة على خطوتين بتروس اسطوانية، او بواسطة محول بخطوة واحدة بترسين دوديين. وكفاءة المحول الاسطوانى ذى الخطوتين η_1 = ٩٥ر٠ ، وبالنسبة للمحول الدودى η_2 = ٧٥ر٠ وفى كلتا الحالتين سوف نحتاج الى محرك كهربى من طراز A61-8 (N = ٥ر٤ كيلووات، n_m = ٧٣٠ لفة/دقيقة).

سوف نقارن فى الحسابات بالمؤشرات الخاصة بالمحولين فقط.

المصروفات الابتدائية المتعلقة بشراء وتركيب محولات السرعة نجدها فى كشوف الاسعار ومعدلاتها.

الحل الاول : محول السرعة الاسطوانى من خطوتين :

K_1 = ٣٠٠ روبل ، RK_1 = ٣ر٠ × ٣٠٠ = ٩٠ روبل سنويا

الحل الثانى : محول السرعة الدودى بخطوة واحدة :

$K_2 = ١٥٠$ روبل ، $RK_2 = ٣ر٠ \times ١٥٠ = ٤٥$ روبل سنويا

مصروفات تسديد ثمن الفاقد من الطاقة الكهربية

$$E_{li} = \left(\frac{N}{\eta_i} - N\right) H \frac{Ce}{100}$$

حيث Ce = قيمة كل كيلووات واحد من الطاقة الكهربية.

الحل الاول :

$$E_{l1} = \left(\frac{3}{0.95} - 3\right) 1200 \frac{1 \times 4}{100} = 2.7$$

الحل الثانى :

$$E_{l2} = \left(\frac{3}{0.75} - 3\right) 1200 \frac{1 \times 4}{100} = 16.8$$

المصروفات السنوية للاستهلاك والخدمة والتصليح للمحولات

$$E_{mi} = \frac{K_i + \alpha_i K_i}{T_t}$$

حيث $\alpha_i K_i$ ـ قيمة استخدام المحلول (تصليحه، ونفقات التزييت وغيرها) .

ونأخذ بالنسبة للحل الاول $\alpha_1 = ١ر٠$ ، وللحل الثانى $\alpha_2 = ١٥ر٠$

$$E_{m1} = \frac{300 + 0.1 \times 300}{8} = 41.3$$

$$E_{m2} = \frac{150 + 0.15 \times 150}{8} = 21.6$$

وعلى ذلك تكون القيمة الاجمالية للمصروفات المحولة

$$E_1 = 90 + 2.7 + 41.3 = 134$$

$$E_2 = 45 + 16.8 + 21.6 = 83.4$$

ومن هنا يتضح ان استعمال الحل الثانى هو الافضل اقتصاديا .

وفى الحسابات الفنية الاقتصادية المتعلقة بانشاء واستخدام الاجزاء والوصلات والماكينات تدخل كاحد المقادير الحسابية المصروفات اللازمة لصنعها والتى يمكن ايجادها من كشوف الاسعار المناسبة او من بيانات المصنع القائم بصنعها .

اما بالنسبة للاجزاء والماكينات التى ليس لها بعد رسوم تنفيذية والتى

لم يحدد لها سوى البارامترات الاساسية (بالتقريب الاول) ، تتحدد تكلفتها بطريقة التماثل التى فحواها فيما يلى :

يمكن تصور تكاليف الماكينة (المنتج) انها تتكون من مصروفات لشراء المواد ومصروفات تشغيل الاجزاء وتجميع الماكينة التى تتناسب مع حجم العمل فى هذه العمليات .

وللعديد من الماكينات المتماثلة التى تتوافق مع مبدأ التماثل الهندسى والتى تصنع فى ظروف انتاجية واحدة، تكون مصروفات شراء المواد متناسبة مع الوزن (G) كما ان سعة العمل فى صنع الاجزاء فى ورش السباكة والحدادة والتجميع متناسبة ايضا مع الوزن (G)، اما سعة العمل فى التشغيل الميكانيكى وفى الطلاء والتشطيب فتتناسب مع مساحة سطح الماكينة (F).

وعند ذلك تكون التكلفة

$$H = h_g G + h_f F \qquad (6.2)$$

حيث h_g و h_f معاملا التناسب .

وبالنسبة للاجزاء المتماثلة هندسيا يكون الوزن متناسبا مع الحجم او مع الابعاد الطولية مرفوعة للاس الثالث ($G: \; :l^3$) اما المساحة - فتتناسب مع الابعاد الطولية مرفوعة للاس الثانى ($F: \; :l^2$) ومن هنا يمكن التعبير عن مساحة السطح بالوزن مرفوعا للاس (٢ / ٣).

واذا استبدلنا فى المعادلة (6.2) قيمة F بالقيمة $G^{2/3}$ المتناسبة معها نحصل على التالى

$$H = h_g G + h_{fg} G^{2/3} \qquad (6.3)$$

والقيم الثابتة h_g و h_{fg} يمكن تحديدها اذا ما عرفت القيم G ، و H لماكينتين متناظرتين .

ولتعيين تكاليف صنع الماكينات المتشابهة والمتقاربة فى وزنها ، يمكن تبسيط الصيغة (6.3) اذا ما اخذنا ان كل المصروفات متناسبة مع وزن الماكينة

$$H \approx hG$$

حيث h - تكلفة وحدة الاوزان .

وعند استخدام الصيغة (6.4) يجب ان نتذكر ان التكلفة تزيد فى الحقيقة لا بالتناسب الطردى مع الوزن ولكن ابطأ من ذلك مما يتضح من مقارنة الصيغتين (6.3) و (6.4). ولذلك فان التكلفة النوعية لوحدة الاوزان h لا تبقى ثابتة لكل عدد الماكينات من النوع الواحد ، بل انها

تقل مع زيادة الوزن وللحسابات التطبيقية تتحدد القيمة h حسب كشوف الاسعار او معطيات المصانع التى تصنع مثل هذه الماكينة.

والعلاقتان (6.4) و (6.3) تستخدمان للتعيين الابتدائى للتكلفة وسعة العمل فى صنع لا الماكينات فقط،بل ومختلف الاجزاء ايضا. الا انه فى الحالة الاخيرة، مثلا ، فى الصيغة التى تحدد حجم العمل فى صنع الاجزاء

$$T_{pc} = AG^{m}$$

ومؤشر الاس m لا يتقيد بالقيم $m = \frac{٢}{٣}$ الى ١ ،بل انه يتغير فى حدود اوسع من ذلك.

فمثلا بالنسبة للاعمدة المدرجة من درجة الدقة الثالثة فى تشغيلها ، وذات المقاسات المتوسطة، المصنوعة من الحديد المدلفن (σ_u = ٥٠ - ٦٠ كجم/مم٢) فى حالة الانتاج بدفعات صغيرة، يرتبط زمن تشغيل القطعة (الساعات) ،بوزن العمود (بالكجم) بالعلاقة التالية :

$$T_{pc} \approx 0.38\,G^{0.6}$$

وبالنسبة للتروس المصنوعة من صلب المطروقات (σ_u = ٧٠ - ٨٠ كجم/مم٢) ومع ثبات الظروف الاخرى كما بينا اعلاه ،

$$T_{pc} = 1.20G^{0.15}$$

وطريقة الحساب التى عرضناها اعلاه حسب التكلفة النوعية لوحدة الاوزان بين الاجزاء المتشابهة والماكينات تعتبر ابسط الطرائق واكثرها انتشارا ، ولكنها اقلها دقة من بين كل الطرائق المعروفة لحساب التكلفة التصميمية * للماكينة . الا انه فى غالبية الحالات تفسر الاخطاء بسبب التفسيرات الواسعة زيادة عن اللازم للطريقة واستعمالها غير المحدد اكثر مما تكون بسبب عدم كمال هذه الطريقة.

ولنبحث المصادر الاساسية لهذه الاخطاء وطرائق تلافيها .

١ - ان حساب تكاليف الماكينات بالوزن ، وقيمة وحدة الاوزان قائم على اساس مبدأ التناظر. وبناء على ذلك فاذا تحرينا الدقة، فهذا المبدأ صحيح فقط للماكينات المتناظرة هندسيا ، ويأخذ فى الاعتبار فقط الابعاد المختلفة للماكينات. ومبدأ التناظر من النادر ان ينطبق على الماكينات ككل. ففى الاحيان الكثيرة نجده ينطبق بدقة اكبر على بعض مجمعاتها ووصلاتها واجزائها . ولذلك يكون اكثر صحة تحديد التكلفة النوعية لا للماكينة ككل

---

* على ما نعتقد فان ادق طريقة للتقيم الابتدائى لقيمة المصنوعات تعتبر الطريقة الحسابية التناسبية. اذ انها قائمة على التحديد بطرائق الحساب التناسبى للعلاقة بين تكلفة المجموعة المعنية من المصنوعات وبين بعض الدلائل (المؤشرات) المميزة لها .

بل لاجزائها المختلفة. فمثلا عندما نحدد تكلفة الطائرة، يجدر تحديد قيمة المحركات وقيمة جسم الطائرة كل على حدة حسب معاييرها الخاصة ، اما عند حساب تكلفة خط اوتوماتيكى للماكينات، فمن الانسب تحديد قيمة اجهزة النقل منفصلة عن قيمة ماكينات التشغيل.

٢ - فى تكلفة الماكينات الحديثة، تشكل جزءا كبيرا ومتزايدا منها المجمعات الضخمة والوصلات والاجزاء التى يحصل عليها المصنع جاهزة من خارجه. وقيمة هذه المجمعات والوصلات الغالية الثمن يجب ان نحدد وفق كشوف اسعار الموردين مباشرة. وعلى كل، فلحساب التكلفة بطريقة التناظر يجب ترك فقط الوزن الصافى للماكينة بدون المجمعات المشتراة او الوصلات او الاجزاء.

٣ - وما ورد اعلاه يتعلق بتكلفة الماكينات المتناظرة (او المصنوعات)، التى تصنع فى ظروف انتاجية واحدة، وبمستوى تكنولوجى وتنظيمى واحد .

ومن بين مختلف العوامل المؤثرة على تكلفة صنع الاجزاء والماكينات، يعتبر اهمها نطاق انتاج المنتجات المعنية.

وللحسابات الابتدائية، يمكن تقدير تأثير نطاق الانتاج من علاقة القطع الزائد التالية

$$H = \frac{A}{N^{\alpha}}$$

او

$$H = H_0\left(\frac{N_0}{N}\right)^{\alpha}$$

حيث H و H_0 - هما التكلفة عند انتاج عدد N ، N_0 من الماكينات (المصنوعات) على التوالى سنويا.

α - مؤشر الاس، الذى يدخل فى الاعتبار تغير التكلفة وسعة العمل المرتبط بنطاق الانتاج .

ومع زيادة نطاق الانتاج تقل تكلفة المصنوعات سواء على حساب تقليل نفقات المواد (التقليل من السماحات بفضل الطرائق المحسنة لانتاج الخامات نصف المصنعة)، ام على حساب تقليل سعة العمل فى الصنع. وتقل مكونات التكلفة هذه بدرجات مختلفة. ففى المعتاد يقل حجم العمل اسرع وبدرجة اكبر من نفقات المواد . ولذلك عندما نطبق علاقة القطع الزائد على المكونين للتكاليف يجب ان نأخذ فى الاعتبار ان قيمتى مؤشر الاس مختلفتان للحالتين.

وحسب المعطيات المنشورة، فان المؤشر الذى يوصف تغير حجم العمل للصنع يساوى طبقا لنطاق الانتاج :

بالنسبة لماكينات التشغيل والماكينات α = ٤ر٠ .

بالنسبة للاجهزة α = ٥ر٠ .

الفصل الثانى

وصـــلات اجزاء الماكينات . اليايـــات

الباب السابع

أنواع الوصلات ومواصفاتها الاساسية

انواع الوصلات

تتكون كل ماكينة من اجزاء اعدادها تقدر بالمئات وليس من النادر ان تكون بالآلاف. فمثلا يبلغ عدد اجزاء ابسط ماكينات شحن الفحم اكثر من ٣ آلاف جزء ، وفى السيارة (بما فى ذلك الحرك حوالى ١٦ الف جزء ، وفى الماكينة المجمعة لدرفلة القضبان والمقاطع ٥ر١ مليون جزء من ٤٠٠ الف من المسميات.

وتوصل الاجزاء مع بعضها مكونة وصلات متحركة ووصلات ثابتة للقيام بوظائف محددة فى الماكينة . ومن امثال الوصلات المتحركة : ذراع التوصيل مـــع اصبع عمود المرفق ،عمود الادارة مع ركازه ، او عجلة مسننة مع جريدة مسننة، ومن امثال الوصلات الثابتة (غير متحركة) : وصلات الواح مرجل البخـــار بينها وبين بعضها ومع القاع، والغطاء، وغطاء كرسى المحور مع جسمه او المسمار المحورى فى المكبس مع جسم المكبس .

وعلى حين ان وجود الوصلات المتحركة يتحدد فقط بكينماتيكا الماكينة ، فان استخدام الوصلات غير المتحركة تدعو له ضرورة تقسيم الماكينة الـــى واحدات تجميعية، والاخيرة الى اجزاء وذلك لكى يسهل صنع الماكينة او جعله ممكنا بشكل عام، وكذلك نقلها او اصلاحها .

وفى تطبيق بناء الماكينات تسمى الوصلات غير المتحركة فقط بالوصـلات . وتبعا للسبب الداعى الى تقسيم التركيبة تستخدم الوصلات القابلة للفـك او غير القابلة للفك .

وتسمى الوصلات بغير القابلة للفك ، اذا كانت لا تسمح بفك التركيبة بدون تحطيم الاجزاء الموصلة وواصلة . وكقاعدة عامة تستخدم الوصلات غير القابلة للفك، حيث تملى الاسباب التكنولوجية فك التركيبة - من امكانيـــة الصنع او سهولته او الاقتصاد فيه . وتوجد هذه الوصلات فى الاماكن التى تسمى بالقطاعات التكنولوجية. ونتيجة لاستخدام القطاعات التكنولوجية فـان وزن التركيبة (التصميم) اما الا يتغير اطلاقا بالمقارنة مع وزن التركيبـــة غير المقطعة او انه يزيد زيادة غير محسوسة.

ويمكن تنفيذ الوصلات غير القابلة للفك بالوسائل الميكانيكية - بالبرشمـــة والدلفنة ، وبواسطة التوافق التداخلى او السلبى، او بواسطـــة

قوى الالتصاق الطبيعية - الكيميائية - اللحام .

ومما يميز بناء الماكينات الحديث غلبة استخدام المجموعة الاخيرة من الوصلات. ان لصق المعادن قد حصل على تطور واسع بنوع خاص فى بناء الطائرات (تركيبات خلايا النحل) . وفى بناء ماكينات التشغيل تثبت بهذه الطريقة ادلة الغرش فوق جسم ماكينات التشغيل ، اما فى بناء السيارات فتلصق اغطية الاحتكاك فى القارنات والكابحات (الفرامل) .

وتعتبر الوصلات المختلفة وصلات جديدة وتقدمية - وهى الجمع بين اللصق واللحام، واللصق والتوصيل الميكانيكى (اللصق والبرشمة، واللصق ووصلات القلاووظ) . وتوفر المادة اللاصقة فيها احكام عال ،اما نقط اللحام، والبرشام او اللوالب فتوفر المتانة المطلوبة، اذا كانت متانة طبقة المواد اللاحقة غير كافية لهذا .

وفى المنهج العام لاجزاء الماكينات تبحث التوصيلات باللحام وبواسطة الاقتران بالتدخل ، ووصلات البرشام التى تستخدم بتوسع خاص.

وتسمى الوصلات بوصلات قابلة للفك، عندما يكون من الممكن فكها بدون تحطيم سواء العناصر الواصلة او الاجزاء الموصلة. ويدخل فى اعدادها وصلات اللوالب ، ووصلات المسامير المشقوقة ووصلات الاسافين والخوابير ، والوصلات المسننة (ذات المجارى) وغيرها من الوصلات التى يمكن تسميتها بوصلات الاشكال (*profile*) .

ويمكن تقسيم الوصلات القابلة للفك الى الوصلات بنائية يكون سببها خصائص التركيب (مثل توصيل العناصر من المواد المختلفة) ، ووصلات للاستخدام التى تستعمل لتسهيل الاستخدام واحيانا لتسهيل التصليح والنقل .

وتصميم هذه الوصلات هو مهمة ذات مسئولية حيث ان تحطم الماكينات يحدث فى غالبية الاحوال فى مواضع التوصيل بالذات.

وبجانب المتطلبات العامة للاقتصاد المطروحة على الوصلات تطرح ايضا تبعا لاغراضها متطلبات المتانة، والاحكام، والجساءة وفى الاحوال الخاصة التوصيل الحرارى الكهربى ايضا .

واذا لم يكن التوصيل باحد الانواع لا يرضى كل المتطلبات المعطية، يستخدم فى هذا الحالة التوصيل المختلط . فمثلا فى صناعة الطائرات، تقابل وصلات البرشام واللصق، وفيها يتوفر الاحكام عن طريق اللصق، اما المتانة المطلوبة فتتوفر عن طريق اللحام باللصق مع البرشام.

وتجرى عمليات التوصيل فى بناء الماكينات يدويا ، حيث ان هذه الاعمال صعبة نسبيا من جهة ميكنتها وبالتالى اتمتتها . ان ظهور الانواع الجديدة من الوصلات وانتشارها الواسع يفسر علاوة على العوامل الاخرى، بالسعى نحو الاقلال من سعة عملها . ونذكر بنوع خاص انه فى تنفيذ عملية اللحام باعتبارها عملية مستمرة من السهل نسبيا اتمتتها مما يعتبر من مزايا هذه العملية . وعند اختيار نوع الوصلة يجب اخذ هذه الافكار فى الاعتبار.

ان كل الانواع المذكورة من الوصلات تتصف بالجساءة الكبيرة (انظر ص

(١٠) . وفى الكثير من الحالات الخاصة توصل الاجزاء بمساعدة عناصر مرنة تتمتع بمطيلية كبيرة، وبفضل هذا تتوفر ازاحة نسبية كبيرة بين الاجزاء الموصلة. وتستخدم مختلف انواع اليايات كعناصر مرنة.

المتانة

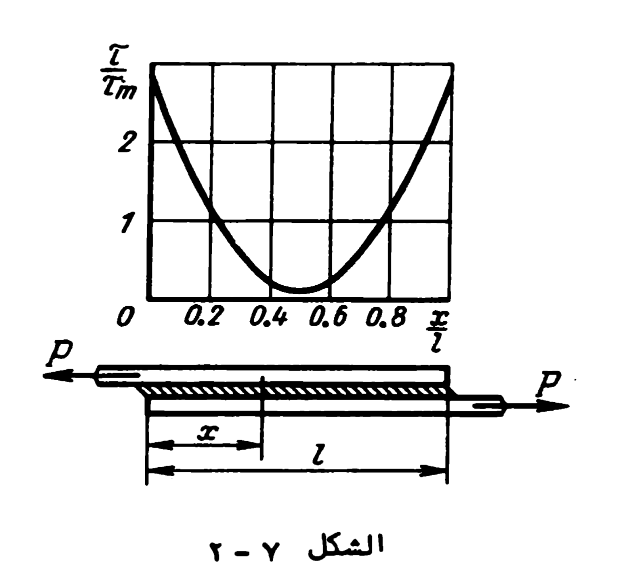
تعتبر المتانة، التى تقيم بمقدار حد التحميل المسموح، او بمعامل المتانة φ ، وهو النسبة بين هذا الحمل وبين الحمل الحدى لاضعف مقاطع العناصر الجارى توصيلها، تعتبر المواصفة الرئيسية لمعظم الوصلات.

وتنحصر المهمة الرئيسية هنا فى ان تقترب بقدر الامكان متانة الوصلة من متانة عناصرها الجارى توصيلها. فمثلا ان الوصلة ذات المعامل φ = = ٩ر٠ تتمتع بمتانة تشكل ٩٠ ٪ من متانة اضعف عناصرها.

وفى وصلات البرشام يكون المعامل φ اقل من الوحدة دائما وذلك بسبب اضعاف العناصر الجارى توصيلها بالثقوب للبرشام، وفى وصلات اللحام عند ثبات الظروف المماثلة يقترب المعامل φ من الواحد الصحيح فى بعض الاحيان. وفى الحالات الخاصة، يعوض وجود ثقوب للبرشام او وجود معدن اللحام ذى الخواص الميكانيكية المنخفضة، بالزيادة المناظرة لمقطع العناصر فى موضع الوصلة.

ولمتانة الوصلات العاملة فى ظروف الاحمال المتغيرة، يكون لدرجة عدم انتظام توزيع الاجهادات فى مقطع الاجزاء، ومقدار تركيز الاجهادات فى نقط الوصلة المختلفة، اهمية خاصة.

ولقد اثبتت الابحاث العملية والنظرية العديدة، ان توزيع الاجهادات بين البرشام (الشكل ٧ - ١)، وعلى طول وصلة اللحام (الشكل ٧ - ٢)، وعلى ارتفاع الصامولة - بين اسنان قلاووظ المسمار والصامولة (الشكل ٧ - ٣) ، غير منتظم. وكقاعدة عامة تصل الاجهادات الى اقصى قيمة لها فى النقط الطرفية من الوصلة ، ويمكن ان تكون اعلى بعدة مرات من الاجهاد المتوسط



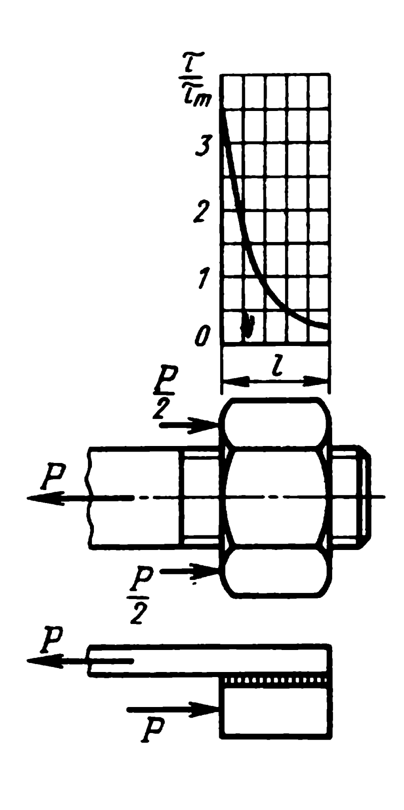
الشكل ٧ - ٢

τ/τm 1.2 0.8 0.4 0 1 2 3 4 5 6 P P

الشكل ٧ - ١

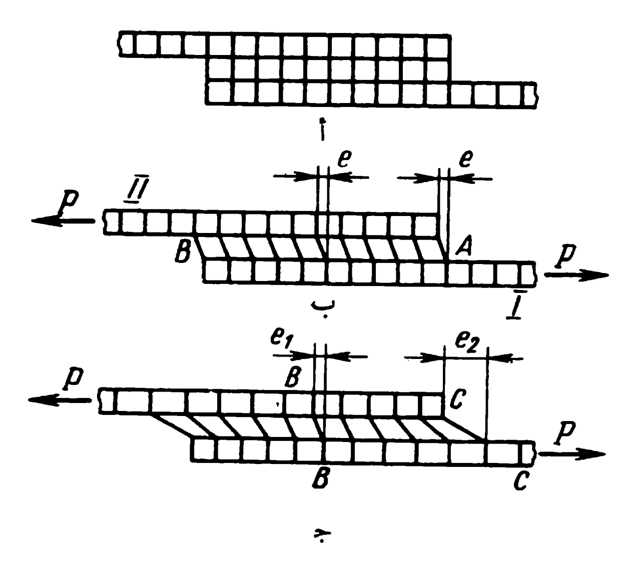
τ_m ، الذى تحدده قيمة الحمل مقسومة علــى مساحة الوصلة.

وعلى الرغم من الاختلاف الظاهر بين وصلات البرشام، واللحام وغيرهما، وكذلك وصلات اللوالب، فان عدم انتظام توزيع الاجهادات تسببه اسباب متماثلة - وهى اختلاف التشويهات فى العناصــر الجارى توصيلها، وثنيها، الذى يحدث اساســا نتيجة للتطبيق اللا متمركز للحمل.



الشكل ٧ - ٣

ان الاجهادات التى تظهر نتيجة لاختــلاف التشويهات بين العناصر الجارى توصيلها، يمكــن ان تحدد بالمقارنة بين وصلة من عناصر جاسئــة غير قابلة للتشويه، وبين وصلة من عناصر قابلـــة لتشويه الاستطالة بغير انحناء. وللتمثيل الاوضح، يرمز الى الطبقة الواصلة فى كلتا الحالتيـــن بخطوط تهشير فى الشكل (٧ - ٤، أ) (دور هذه الطبقة تلعبه مسامير البرشام فى وصلة البرشــام، اما فى وصلات اللحام ولحام المونة ووصـــلات اللصق، فيقوم به المعدن المصهور، ومعدن لحام المونة، والمادة اللاصقة على التوالى، وفى وصلة اللولب اسنان اللولب فى الصامولة والمسمار). وتـــزاح العناصر غير القابلة للتشويه كما لو كانت عتبات جاسئة، اما الطبقة الواصلــة فتعانى من تشويه القص الثابت علـــى طول الوصلة (الشكل ٧-٤، ب). ولكـن كل من العناصر يتعرض، قبل الوصلـــة مباشرة، لتأثير الحمل المطبق P وينقله تدريجيا الى العنصر الثانى من خلال الطبقة الواصلة.



الشكل ٧ - ٤

وعلى ذلك يكون الاجهاد فـــى العنصر (I) بحده الاقصى فـــى النقطة (A) الا انه يقل بالتدريج ويصل الى الصفر فى النقطة (B). اما الاجهاد فى العنصر (II) فعلى العكس، فيبلغ قيمته القصوى فى النقطة (B) ويقل تدريجيا حتى يصل الى الصفر فى النقطة (A).

ولا يكون لتغير هذه الاجهادات قيمة كبيرة اذا كان العنصران (I) و (II) يتصرفان كجسمين صلبين تماما، اما اذا ما كانا قادرين علـــى الاستطالة بحيث تخضع لقوانين المرونة، فتظهر فى العنصرين تشوهـــات تتناسب مع الاجهادات المؤثرة.

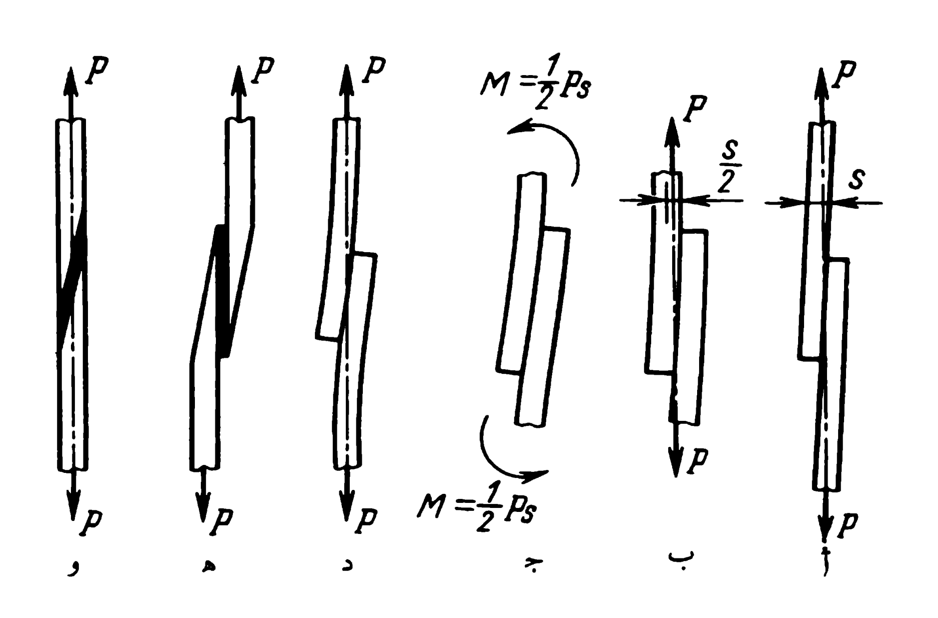
ويبين الشكل (٧ - ٤ ، جـ) صورة هذه التشوهات بالتصوير التخطيطي . ان النقطتين (B) اللتين كانتا منطبقتين فى السابق رأسيا (الشكل ٧ - ٤ ، جـ) ، والقريبتين من منتصف الوصلة ، والنقطتين (C) على طرفى الوصلة ، فتتحرك لمسافات غير متساوية e_1 ، e_2 علما بان انحرافاتها الطرفية تكون اكبر بكثير ($e_1 >> e_2$) ، ولذلك فان الاجهادات القصوى فى الطبقة الواصلة تظهر عند طرفى الوصلة. وكلما زاد طول الوصلة، زاد الفرق بين الاجهادات المتوسطة على طول الوصلة وبين الاجهادات القصوى عند طرفيها . وانطلاقا من هذا ، يقيد طول الوصلة بمقدار امثل ، يتحدد بالنسبة بين مطيلية العناصر الواصلة والعناصر الجارى توصيلها .

فمثلا ، طول وصلة اللحام يؤخذ بما لا يزيد عن ٥٠ مرة سمك اضعف الواح الوصلة، وعدد مسامير البرشام فى اتجاه حمل الشد يتحدد ب ٥ - ٦ مسامير، وارتفاع الصامولة ٨ر. من قطر المسمار .. الخ . واذا ما زاد طول الوصلة عن الطول الامثل (اى طول وصلة اللحام، او عدد مسامير البرشام، او ارتفاع الصامولة وما الى ذلك) ، فان متانة الوصلة لا تزيد ، وانما تزيد فقط سعة العمل فى صنع الوصلة ووزنها .

ان كل ما قيل عن عدم انتظام توزيع الاجهادات على طول الوصلة، وتركيز الاجهادات عند طرفيها ينطلق على عمل الوصلات فى منطقة التشوهات المرنة، ويجب ان يؤخذ فى الاعتبار عند تصميم الوصلات المعرضة لخط التحطم الكلالى .

ومع الاقتراب من حد الخضوع ، يصبح توزيع الاجهادات على طول الوصلة اكثر انتظاما ، الا ان هذه الحالة لها اهمية فقط عند التحميل الاستاتيكى .

وعناصر الوصلة تنحرف حتما عند الوصلة احدها بالنسبة للاخر ، على الاقل بمقدار السمك (s) (الشكل ٧ - ٥ ، أ) .

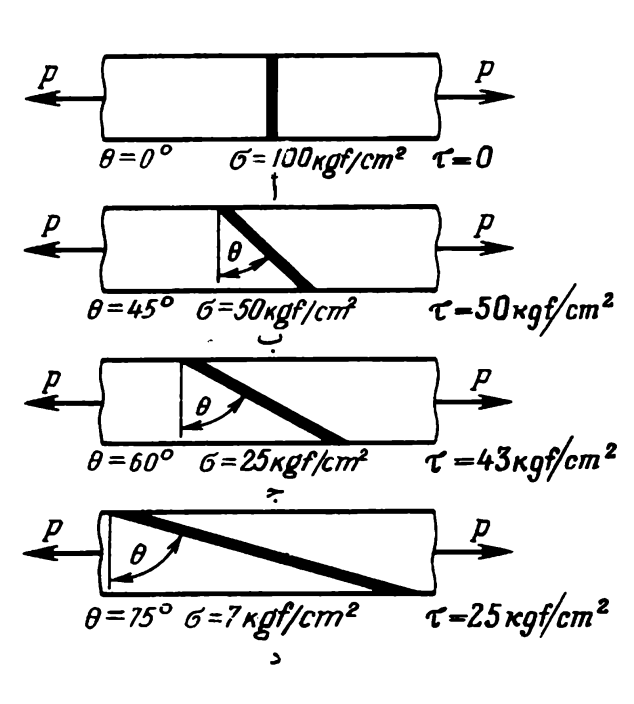


الشكل ٧ - ٥

وخط تأثير قوة الشد ، الواصل بين نقطتى تطبيق الحمل (P) ، يتجه فى هذه الحالة بميل ، ويمر عبر النقطة المتوسطة فى الوصلة. وعدم تركز تطبيق الحمل يخلق عزم ثنى يساوى $M = \frac{1}{2} Ps$ (الشكل ٧-٥ ، ب، جـ) تنتمى تحت تأثيره العناصر الجارى توصيلها ، اذا ما كان طولها كبير بدرجة كافية ، كما يظهر فى الشكل (٧-٥ ، د) ، ويقلل هذا التشوه من الاجهاد الساعى لفصل العنصرين ، حيث ان خط تأثير الحمل فى الوصلة المشوهة يقع بالقرب من محوى العنصرين ولذلك تكون قيمة عزم الثنى اقل .

والاجهادات الناجمة عن تأثير عزم الثنى (M) ، التى يمكن تسميتها باجهادات الفصل ، تعتبر اجهادات شد ، وتتجه عموديا على الاسطح . وهى مقيدة فى قطاعات السطح الملاحق لنهايتى الوصلة، ويمكنها ان تقلل كثيرا من متانة الوصلة .

ان السعى الى التوصل الى توزيع الاجهادات بانتظام اكبر قد ادى الى استعمال الوصلات ذات الاطراف المشطوبة (المشطوفة) (الشكل ٧-٥ ، هـ) ، وذات المقاطع المائلة (الشكل ٧-٥ ، و) وفى الاولى منها انخفض تأثير "اختلاف التشوهات" ، اما فى الثانية فتم تلافى "عدم تركز الحمل" ايضا . ومع تغيير زاوية ميل المقطع ، تتغير النسبة بين الاجهادات العمودية والمماسية فى الوصلة (الشكل ٧-٦ ، أ - د) ، ففى (الشكل ٧-٦ ، أ) ، أخذ اجهاد الشد الاقصى افتراضا على انه ١٠٠ كجم/سم٢ ، فاذا ما كانت الطبقة الواصلة (مثلا مادة لاصقة ، أو مادة لحام المونة) اضعف من مادة العناصر الجارى توصيلها ، فباستخدام خاصية القطع المائل ، يمكن الحصول على وصلة متينة بشكل كاف . ويستغل هذا فى المعتاد فى وصلات اللحام حيث ان مادة وصلة اللحام أو المادة القريبة من الوصلة يمكن ان تكون اضعف من المادة الاساسية.



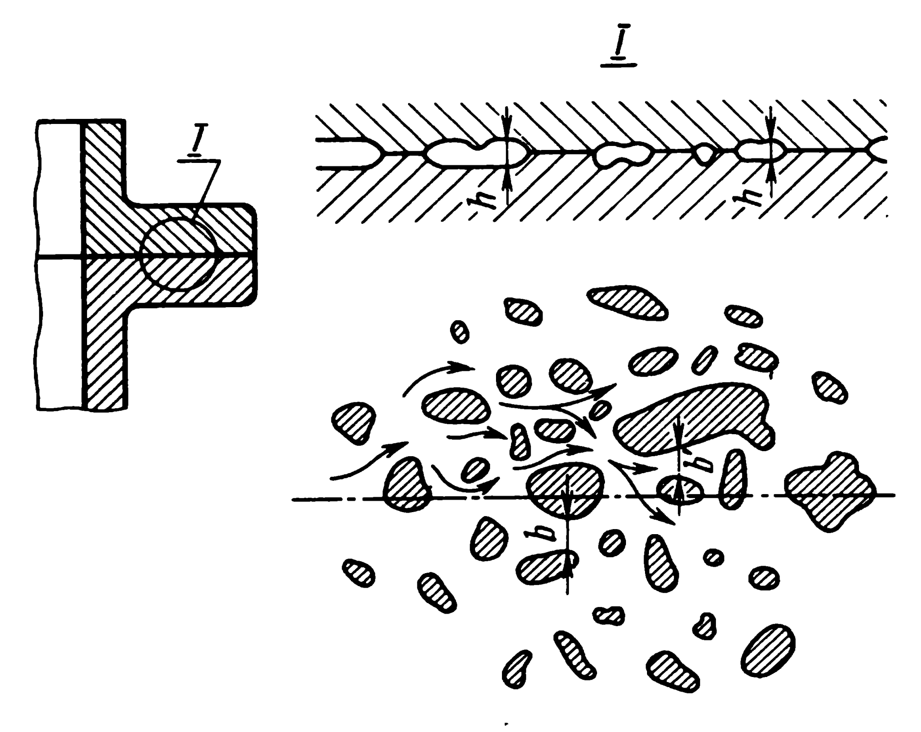
الشكل ٧ - ٦

الاحكام

ان وصلات اجزاء الماكينات والانابيب والاوعية والاجهزة الحاوية على السوائل والغازات ، يجب ان تتمتع بالاحكام اللازم . وجوهر مصطلح الاحكام يمكن شرحه بمثال وصلة الشفة بين ماسورتين (الشكل ٧ - ٧) . يمر

من خلالهما سائل (او غاز) تحت ضغط يزيد عن الضغط الجوى (او ضغط الوسط المحيط) .

ومهما كان تشغيل اسطح هاتين الشفتين تشغيلا دقيقا ، فانهما سوف تتلامسان لا على المساحة الهندسية المقدرة ، بل فقط فى بعض نقـــاط متفرقة منها ، التى تكون بعد التفضن (الاعوجاج) مساحات صغيرة تظهـر فى الشكل (٧ - ٧) على هيئة بقع مهشرة . ويتسرب السائل عبر القنوات المتكونة بين هذه المساحات الصغيرة (ومن باب اولى الغاز) . وقيمة التسرب تعتمد على ضغط السائل ولزوجته ومساحة مقاطع القنوات .



الشكل ٧ - ٧

ويمكن زيادة احكام الوصلة القابلة للفك ، ومنع تسرب السائل (او الغاز)، عن طريق الانضغاط الشديد بين السطحين المتلامسين اللذين اجريـــت عليهما عمليات تشطيب كافية، وباستخدام الوسائد ، التى تحكم الالتحام عـــن طريق ملء الفراغات بين السطحين بمادة لينة سهلة التشوه .

ويعتبر الضغط النوعى الذى يجب ان يوجد على السطحين المتلامسين ، هو منطلق حساب الوصلات المحكمة . ولمختلف انواع الاحكام ولمواد الوسائد يكون الضغط النوعى العامل (النهائى) $q = (1.5 \div 4)p$ ، حيث p = الضغط الداخلى للسائل او الغاز فى الانبوبة او الوعاء . . الخ . والقيمة الادنى ($1.5p$) معطاة للوسائد المعرجة اللينة مع استخدام حبال مـــن الاسبيستوس ، اما القيمة الكبرى ($4p$) ، فتعطى للتلامس المباشر بيـــن السطحين المصقولين .

الجساءة

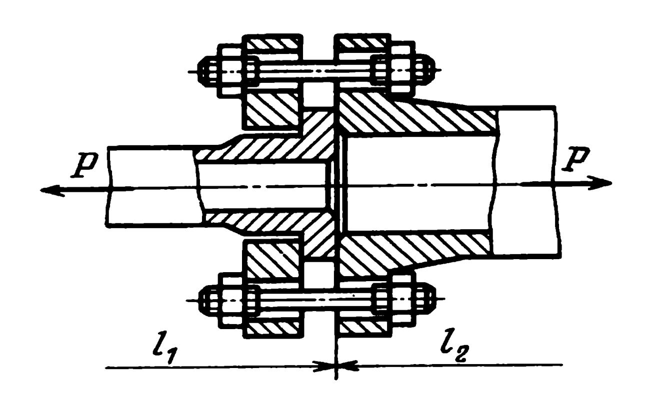
تعار للجساءة اهمية كبيرة بالنسبة للكثير من الاجزاء ووصلاتها . والجساءة تحدد بالنسبة بين القوة المسببة للتشوه (بالكجم) وبين قيمة التشوه الناتج λ (بالمم)

$$c = P : \lambda$$

وفى حالة العلاقة غير الخطية $\lambda = f(P)$ ، تسمى الجساءة بنسبة تغير هذه القيم فى قطع المنحنى موضع الاهتمام $c = \Delta P : \Delta \lambda$. وانطلاقا من التعريف العام لجساءة المجموعة، يسهل تعريف جساءة الوصلة او ما تسمى جساءة الالتحام .

ويوضح الشكل (٧ - ٨) وصلة بين شفتين معرضة لقوة شد P . ولنفرض ان التشويه الحادث فى جزئى المجموعة بلع طولهما l_1 ، l_2 ، هو λ_1 ، λ_2 . والتشويه الكلى فى هذه المجموعة λ_0 اكبر من $\lambda_1 + \lambda_2$ ، والفرق $\lambda_0 - (\lambda_1 + \lambda_2)$ هو تشوه الوصلة ومن هنا تكون جساءة المجموعة

$$c_v = \frac{P}{\lambda_0 - (\lambda_1 + \lambda_2)} \text{ kgf/mm}^2$$



الشكل ٧ - ٨

ولقد وضحت البحوث التجريبية ان جساءة الوصلة تكون اقل بكثير من جساءة العناصر المكونة لها .

وتحسب جساءة المجموعة (c_0) من القانون

$$\frac{1}{c_0} = \frac{1}{c_v} + \frac{1}{c_1} + \frac{1}{c_2}$$

وجساءة المجموعة تكون دائما اقل من جساءة اضعف عناصرها (اقلها جساءة) وبناء عليه فان الوصلة بالذات (اى اقل عناصرها جساءة) هى التى تحدد جساءة المجموعة ككل .

ويولى لقضايا جساءة الوصلات (جساءة الالتحام) فى السنوات الاخيرة اهتمام كبير خاصة فى صناعة بناء ماكينات التشغيل ، حيث انه تعتمد على جساءة المجموعة (ماكينة التشغيل - والجزء المشغل - وآلة القطع) ، انتاجية

ماكينات التشغيل ودقة المصنوعات الجارى تشغيلها . ان رفع جساءة الوصلات المتحركة (مناطق الالتحام) يساعد على تحسين اسطح التشغيل ونظافة التشغيل فى الاجزاء المراد توصيلها ، وعلى زيادة الضغط النوعى نتيجة للتداخل (الشد) الاولى (الابتدائى) ، وتقليل مساحة السطحين المتلامسين .

والوصلات الحاوية فى تركيبها على يايات تمتاز بجساءة قليلة للغاية.

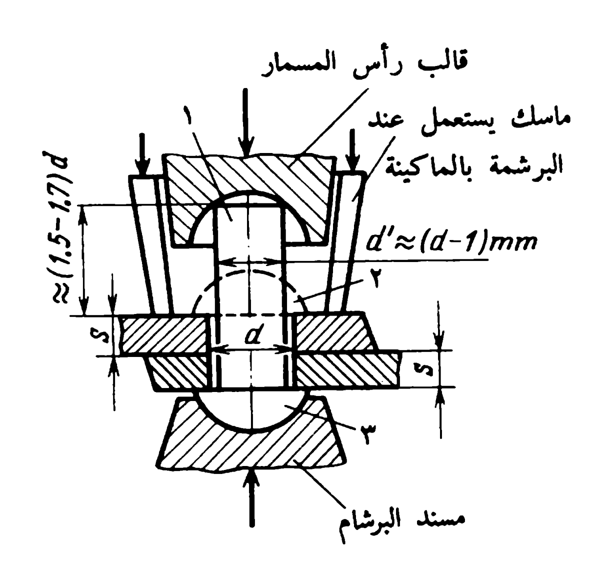
الباب الثامن

وصلات البرشام

معلومات عامة

منذ وقت غير بعيد ، كانت وصلات البرشام تعتبر النوع الاساسى للوصلات غير القابلة للفك، وكانت تستخدم بشكل واسع فى مختلف المنشآت الهندسية - فى المراجل ، والسفن والجسور .. الخ. وفى السنوات العشر الاخيرة وبسبب النجاحات الكبرى فى تطوير طرائق اللحام، ضاق بحدة مجال استخدام وصلات البرشام.

وتشد الاجزاء المراد توصيلها الى بعضها بواسطة البرشام الذى يتكون من قضيب دائرى المقطع ١ ، ورأس ساندة ٣ (الشكل ٨-١). ويوضع مسمار البرشام فى الثقب المشترك المجهز فى الجزئين المراد توصيلهما ، وبالطرق على الطرف البارز من قضيب المسمار ، تتكون الرأس الثانية - القافلة ٢. وتسمى عملية تشكيل الرأس القافلة بعملية البرشمة.



الشكل ٨-١

وبالنسبة لمسامير البرشام التى تصل اقطارها الى ١٢ مم تستخدم عملية البرشمة على البارد ، اما بالنسبة للمسامير ذات الاقطار الاكبر، فيسخن طرف المسمار او المسمار كله حتى درجة الحرارة اللازمة .

ولتسهيل ادخال مسمار البرشام، يصنع الثقب بقطر اكبر قليلا من القطر المقدر لقضيب المسمار. وتحدد اقطار الثقوب على الرسومات طبقا للمواصفات القياسية الحكومية وتبعا للدقة المطلوبة فى تجميع الوصلة .

وتجرى عملية البرشمة يدويا او بالماكينات، وفى الحالة الثانية تمتلئ الثقوب بشكل افضل بالمعدن، مما يكون له تأثير جيد على اداء الوصلة .

المزايا والعيوب . تعمل وصلات البرشام جيدا فى التركيبات المعرضة للاحمال الاهتزازية الكبيرة بشكل ملحوظ ، بيد ان التعويل على وصلات اللحام فى هذه الحالات ما زال منخفضا .

وتستخدم البرشمة ايضا لتوصيل العناصر المصنوعة من معادن صعبة التلاحم وفى الوصلات التى لا تسمح بتسخين معادنها اثناء اللحام نتيجة لاحتمال حدوث تطبيع او تعوج فى الاجزاء المعرضة للتشغيل الانجازى.

ومن عيوب وصلات البرشام هو استهلاك كمية كبيرة من المعدن وبذل جهد كبير فى تنفيذ العملية. ان استهلاك المعادن بكمية كبيرة سببه وجود الثقوب التى تضعف المقاطع العاملة، والوزن الكبير لمسامير البرشام الذى يشكل من ٣٫٥ ٪ الى ٤ ٪ من وزن التركيبة ،على حين ان وزن وصلات اللحام يشكل ١٫٠٪ - ١٫٥ ٪ من وزن التركيبة .

وسبب بذل جهد كبير فى تنفيذ عملية البرشمة يعود الى ضرورة اجراء عمليات اضافية (تعليم الثقوب ، ثم التخريم او التثقيب). وعلاوة على ذلك فان عملية البرشمة اصعب كثيرا واقل انتاجية من عملية اللحام .

التصنيف . تكون مسامير البرشام مع الاجزاء المراد توصيلها ، وصلات البرشام التى تنقسم تبعا للغرض منها الى وصلات متينة (وصلات الماكينات، والاعمدة او الابراج ، والجملونات وما الى ذلك) ، ووصلات متينة محكمة (مراجل البخار، ومجمعات الغازات، والخزانات والاحواض وغيرها) .

والتصنيف المبدئى لوصلات البرشام يظهر فى الشكل (٨ - ٢) .

فتقسم الوصلات حسب نوع تلاحم الاجزاء المبرشمة، الى وصلات تراكب (lap joints) ووصلات تناكب (butt joints) ، وحسب توزيع مسامير البرشام، الى وصلات مساميرها فى صفوف (الشكل ٨ - ٢ ، ب ، د) واخرى مسامير على شكل رقعة الشطرنج (الشكل ٨ - ٢ ، حـ ، هـ ، و ، ح ، ط) . وكل وصلات التراكب ، والوصلات ذات الغطاء الواحد تعتبر وصلات احادية القص (single shear) بالنسبة لعدد مقاطع المسمار الواحد المعرضة لاجهاد القص (الشكل ٨ - ٢ ، أ - و) ، اما الوصلات ذات الغطائين (الشكل ٨ - ٢ ، ح ، ط) فانها وصلات ثنائية القص (double shear) ، علما بان الاخيرة اكثر متانة.

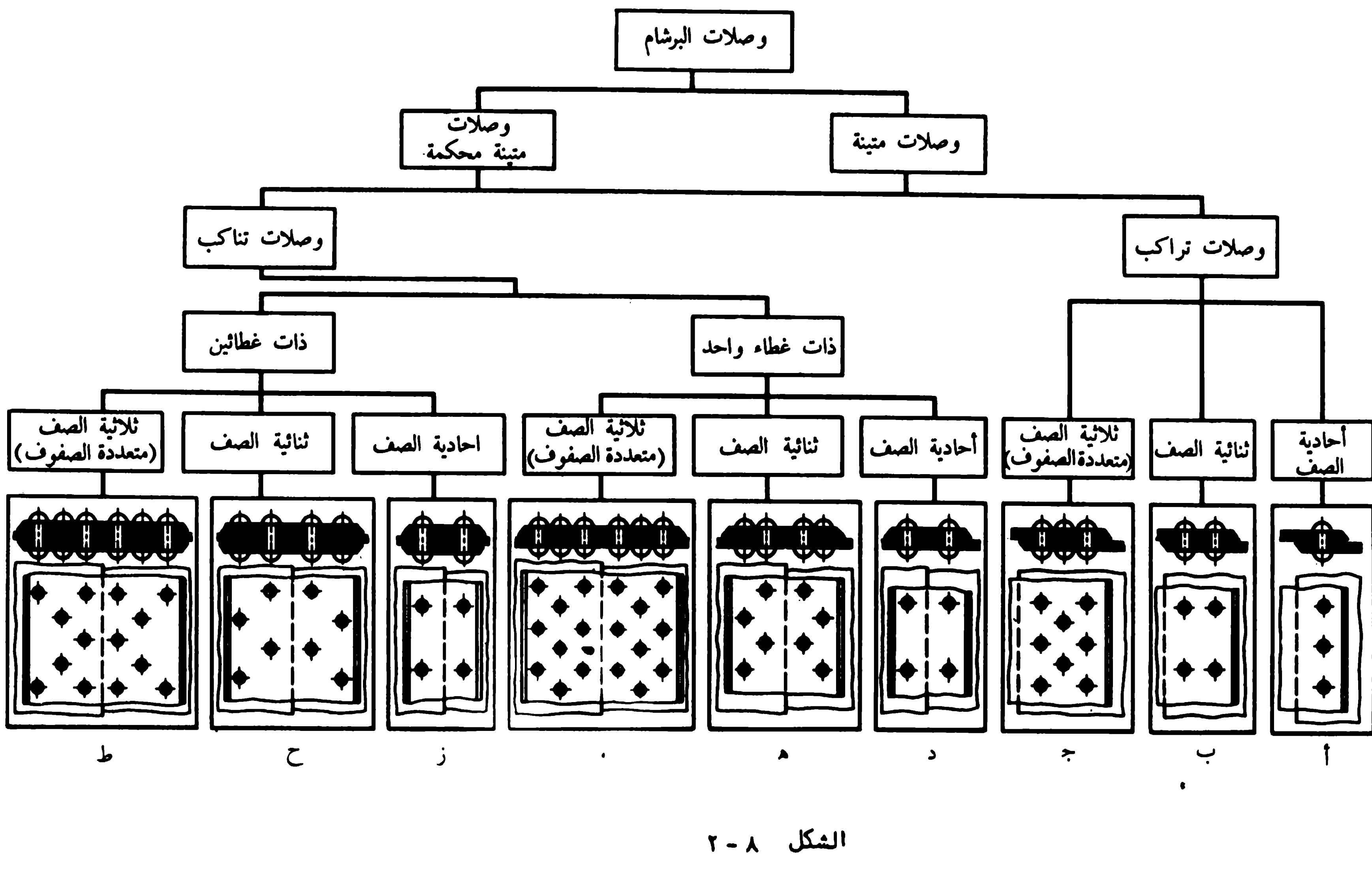
التصميم

انواع مسامير البرشام : تقسم مسامير البرشام حسب شكل المقطع الى مسامير صماء ومسامير مجوفة الساق - الكبسولات. والجدول (٨-١) يوضح بعض انواع مسامير البرشام.

وتصنع مسامير البرشام من الصلب ، وفى بعض الاحيان تصنع من صلب السبائك وكذلك من النحاس والنحاس الاصفر (الشبه) والالومينيوم وغيرها من المعادن . وعند استخدام الصلب الكربونى الاعتيادى بحد متانة اكثر ارتفاعا ، يصعب تشكيل رأس المسمار القافلة.

وفى صناعة بناء الطائرات تستخدم مسامير البرشام المصنوعة من الديورالومين التى تبرشم على البارد .

ومسامير البرشام المصنوعة من الصلب وذات الرؤوس نصف المستديرة هى الاكثر انتشارا . وترسم الرأس بنصف قطر $R = (0.85 \div 1.0)d$ ، وقطر الرأس هو $D = (1.6 \div 1.75)d$ ، وارتفاعها $h = (0.6 \div 0.65)d$ ، حيث d = قطر


وصلات البرشام
وصلات متينة
وصلات متينة محكمة
وصلات تراكب
وصلات تناكب
ذات غطاء واحد
ذات غطائين
أحادية الصف
ثنائية الصف
ثلاثية الصف (متعددة الصفوف)
أحادية الصف
ثنائية الصف
ثلاثية الصف (متعددة الصفوف)
احادية الصف
ثنائية الصف
ثلاثية الصف (متعددة الصفوف)
أ
ب
ج
د
هـ
ز
ح
ط

الشكل ٨ - ٢

ساق المسمار . وتستخدم المسامير نصف المجوفة فى حالات يستحيل عندها تشكيل الرأس القافلة بالطريقة العادية. ولهذه المسامير تجويف فى طرف ساق المسمار ، يملأ بمادة مفرقعة . ويوضع مسمار البرشام فى ثقبه وهو بارد ، ثم يوضع مسند ساخن على رأس المسمار، ويقوم المسند بتسخين مسمار البرشام، وتحدث فرقعة فى تجويف المسمار ويتلفت طرف الساق الى الخارج مكونا رأس لها شكل خاص . وتصنع مسامير البرشام ذات الفرقعة من الديورالومين او من صلب كربونى خاص، او من صلب سبيكة الكروم والموليبدينوم .

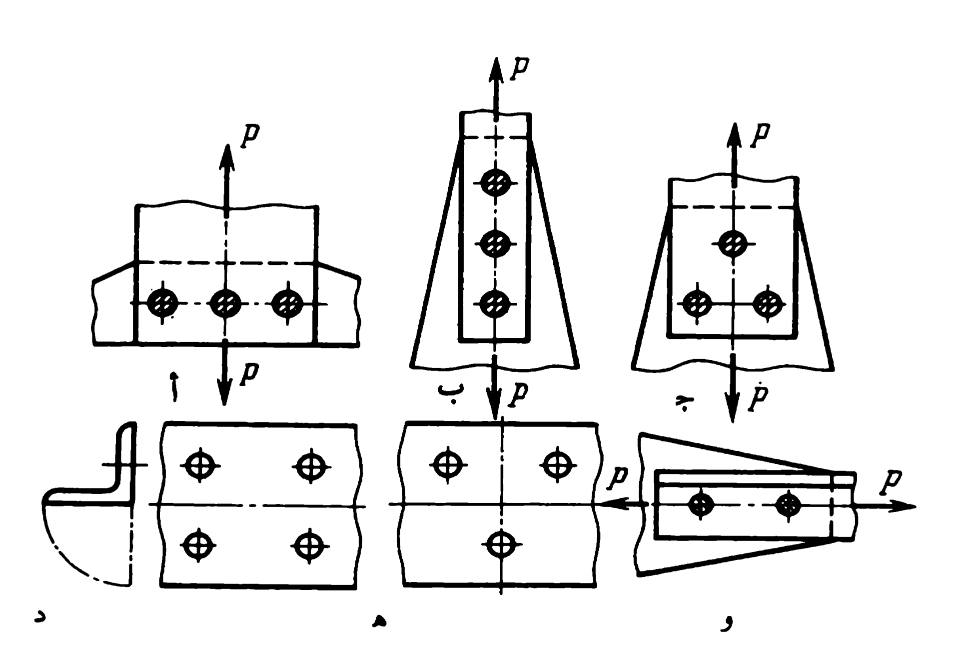
ومسامير البرشام الجوفاء - الكبسولات ، تستخدم فى بناء الطائرات، وبناء الماكينات الدقيقة وغيرها . ويتراوح سمك جدار الكبسولات من ٢٥ر٠ الى ٥ر١ مم. وتنحصر عملية البرشمة فى تشكيل الرأس القافلة بعملية توسيع . وتستخدم الكبسولات ذات الرأس المسطحة لتوصيل الاجزاء المعدنية ، اما الكبسولات ذات الحواف المستديرة ، فلتوصيل الاجزاء المصنوعة من المواد المطاطة ، مثل الجلد والاقمشة وشابهها .

والكبسولات المستخدمة فى الوصلات غير المهمة تصنع من الانابيب الفولاذية او النحاسية او غيرها من الانابيب المعدنية سواء الملحومة او غير الملحومة ، اما بالنسبة للوصلات المهمة فتصنع الكبسولات بواسطة التشكيل بالقطع.

تركيب الوصلات : تصمم الوصلات عادة بعد تحديد كمية مسامير البرشام المطلوبة . ويجب ان تضمن الوصلة لا العمل الجيد فحسب، بل وسهولة صنعها ايضا .

ولنفرض انه يلزم لتثبيت ذراع مع لوحة رابطة ، ثلاثة مسامير، ويمكن ان تصمم الوصلة مع ترتيب المسامير على الوجه التالى :

١ - المسامير الثلاثة فى صف واحد ، مما يؤدى الى توزيع الحمل بانتظام على المسامير ، ولكنه يتطلب عرضا كبيرا للعنصرين المراد توصيلهما (الشكل ٨-٣، أ) .



الشكل ٨ - ٣

٢ -على طول خط تأثير القوة (الشكل ٨ - ٣،ب) ،مما يعطى وصلة ضيقة،الا انها توزع الاجهادات توزيعا غير منتظم فى مقاطع الذراع (انظر ص) .

٣ -على شكل مثلث (الشكل ٨ - ٣، هـ) ،وهذا الحل يعتبر حلا وسطا بين قيمة الاجهادات الناتجة وبين حجم الوصلة.

ويجب الا يجرى توزيع مسامير البرشام على اجنحة الزاوية فى مستوى واحد ، اذ انه فى هذه الحالة يقل المقطع العامل فى الذراع ،وتوزيع المسامير فى الشكل (٨ - ٣، د) اردأ من التوزيع المبين فى الشكل (٨ -٣،هـ).

الجدول ٨ - ١

انواع مسامير البرشام

انواع مسامير البرشام	قطر ساق المسمار بالمم	الرسم
مسامير برشام ذات رأس نصف مستديرة	من ١ الى ٣٦	
مسامير برشام ذات رأس مسطحة	من ٢ الى ٣٦	
مسامير برشام رأس نصف غاطسة	من ٢ الى ٣٦	
مسامير برشام اجسامها شبه مفرغة (انفجارية)	من ١ الى ١٠	
مسامير برشام اجسامها مفرغة وذات رؤوس مسطحة (كبسولات)	من ١ الى ١٠	
مسامير برشام اجسامها مفرغة وذات رؤوس بحواف مستديرة	من ١ الى ١٠	

ويجب توزيع مسامير البرشام قريبا بقدر الامكان من المحور المار بمركز ثقل مقطع الزاوية ،وذلك للاقلال من قيم العزوم الاضافية الناتجة فى العناصر المعرضة لاجهادات الشد او الضغط (الشكل ٨ - ٣،و).

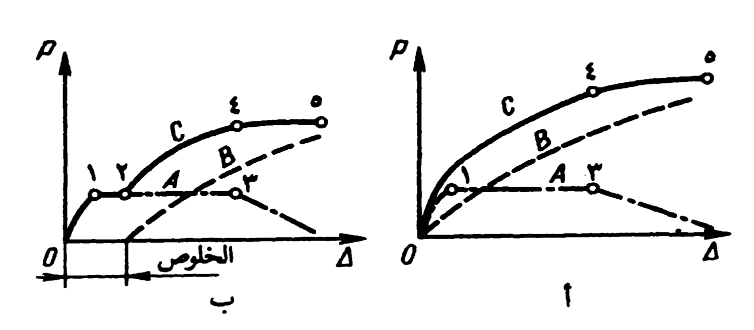
<u>مبدأ نقل الحمل</u> : فى اثناء تبريد مسمار البرشام، تنشأ فى ساقه قوى محورية كبيرة، تعمل على ضغط العنصرين المبرشمين احدهما على الاخر وتخلق فيما بينهما قوى احتكاك كبيرة.

واثناء ذلك يقل مقطع الساق، والنتيجة ان يتكون بين جسم مسمار البرشام وبين حائط الثقب خلوص يؤثر تأثيرا ملموسا على متانة وجساءة الوصلة.

وفى الشكل (٨ - ٤ ،أ،ب) ، يبين على محورى " الحمل - P ، والتشوه Δ " ،رسمان بيانيان لعمل وصلة البرشام. والمنحنيان (A) يمثلان هذه العلاقة لقوى الاحتكاك، اما المنحنيان (B)، فيمثلان العلاقة بالنسبة لساق مسمار البرشام، الذى لا تكون لتشوهه فى الوصلة بشدة منطقة خضوع كبيرة.

وعلى المنحنيين (A) توجد ثلاثة قطاعات واضحة، فحتى النقطة (1) تحدث ازاحة مرنة - لدنة ،عندما تصل قوى الاحتكاك الى قيمتها القصوى مع وجود ازاحات صغيرة بين العنصرين الموصلين . وابتداء من هذه النقطة وحتى النقطة (3) ، يحدث استقرار وثبات فى قوى الاحتكاك، ومع قيمتها الثابتة يحدث انزلاق.

والقطاع الثالث وهو من النقطة (3) - مرتبط بعمل ساق مسمار البرشام ،الذى مع تشوهه الشديد ، او تحطمه فى بعض الاحسان ، يقل الضغط الابتدائى بين الجزئين المبرشمين ،مما يسبب تقليل قوى الاحتكاك.



الشكل ٨ - ٤

واذا كان مسمار البرشام مستقرا فى ثقبه ولم يكن هناك خلوص (فراغ) بينهما ،كما يحدث ذلك عند البرشمة على البارد ،فيمكن تمثيل المقدرة على الحمل للوصلة، والتى تحدد بالعمل المشترك بين قوى الاحتكاك وبين ساق المسمار ، بواسطة المنحنى (C) (الشكل ٨ - ٤ ، أ) . ومحاور كل نقطة على المنحنى (C) تعتبر مجموع محاور النقط المناظرة على المنحنيين (A) و (B) .

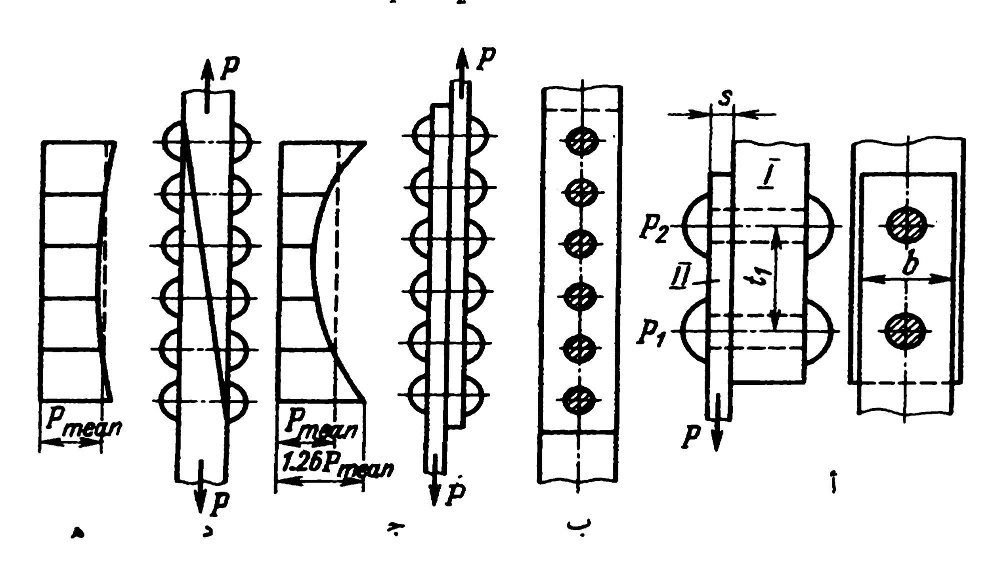
وبوجود الخلوص ، تتحدد المقدرة على الحمل فى الوصلة اثناء الفترة الاولى من عملها ، بقيمة قوى الاحتكاك فقط (الشكل ٨ - ٤ ،ب) مما ينتج عنه احتمال وقوى ازاحة متبادلة بين العنصرين المبرشمين فى حدود الخلوص حتى النقطة (2). وابتداء من النقطة (4) تزداد التشوهات اللدنة فى مسمار البرشام ازديادا شديدا ، وتقل فى نفس الوقت قوى الاحتكاك . وفى النقطة (5) يحدث التحطم فى الوصلة .

وبالنسبة للكثير من التصاميم ، لا يسمح حتى بالانزلاق المتخلف الصغير جدا ، حيث ان هذا يمكن ان يؤدى مثلا الى فقدان احكام شد وصلة مرجل البخار (" تنفيس البخار ") او الى اعادة توزيع الاجهادات فى اذرع التركيبة المعدنية نتيجة لتغير اطوالها . ولذلك فمن اجل زيادة متانة وجساءة الوصلة ، يلزم ان تكون الخلوصات بين ساق مسمار البرشام وبين ثقبه اقل ما يمكن .

ولهذا السبب يسعى لاجراء البرشمة على البارد ، او بتسخين مسامير البرشام بالدرجة التى تسمح بتشكيل الرأس القافلة فقط.

توزيع الحمل : اذا كان الوصلة معرضة لتأثير قوة P (الشكل ٨ -٥ ،أ) ، فان هذه القوة تتوزع بين المسامير بحيث

$$P_1 + P_2 = P$$



الشكل ٨ - ٥

والحمل P_2 المؤثر على عنصر الجزء II بين المسامير يؤدى الى احداث اجهاد فى ذلك العنصر :

$$\sigma_2 = \frac{\lambda E_2}{t_1}$$

حيث λ - الاستطالة المطلقة فى العنصر موضع الدراسة ؛

E_2 - معامل المرونة فى الشد (المرونة الطولية) لمادة الجزء II .

وعلى ذلك فان

$$P_2 = \sigma_2 bs = \lambda \frac{E_2 F_2}{t_1}$$

ويعتمد تشوه الجزء II على الجساءة $\frac{E_1 F_1}{t_1}$ لعنصر من الجزء I له نفس الطول . واذا كان $\frac{E_1 F_1}{t_1} = \infty$ ، فان $\lambda = 0$ و $P_2 = 0$. وفى الحالة الحدية المذكورة يكون مسمار البرشام الاول قد تحمل كل الحمل . ولذلك فان العناصر ذات الجساءة المتباينة بشدة لا يفضل توصيلها بوصلة متعددة الصفوف .

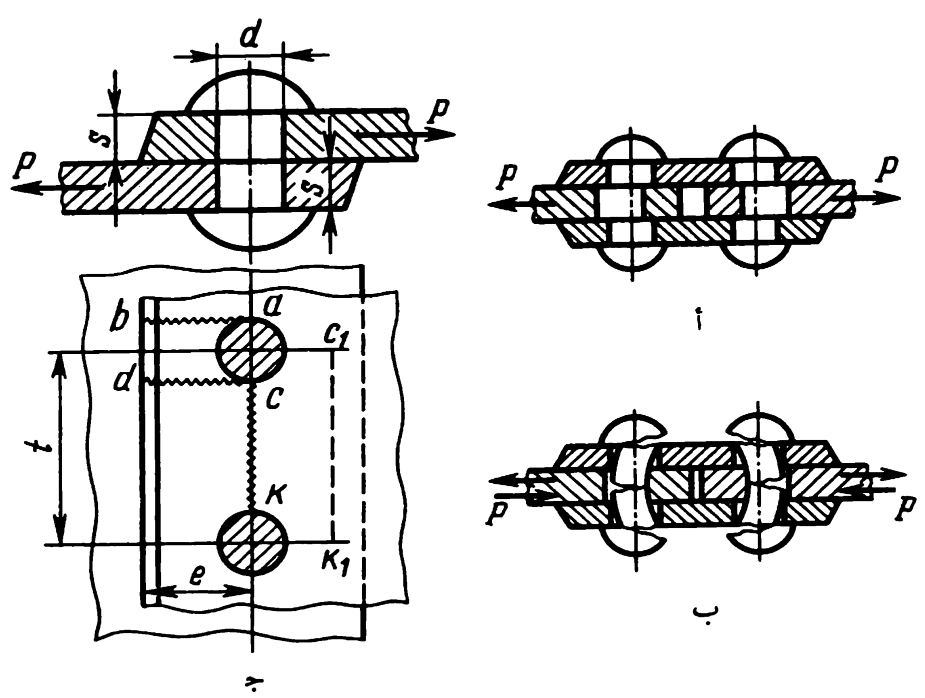
وكلما زاد عدد المسامير فى الصف الواحد ، ازداد عدم انتظام توزيع الحمل بينهما وبالتالى عدم انتظام عملها فى منطقة التشوه المرن . وتكون المسامير الموجودة فى طرف الوصلة محملة باقصى حد ، وذلك بسبب عدم تحميل المسامير المتوسطة بالمقدار الكامل من الحمل .

وعندما تكون الوصلة حاوية على ستة مسامير (الشكل ٨ - ٥ ، ب) تكون زيادة تحميل المسامير الموجودة فى طرفى الوصلة اكثر بنسبة ٢٦ ٪ بالمقارنة مع تحميل المسامير المتوسطة (انظر التوزيع فى الشكل ٨-٥ ، حـ) .

وفى الوصلات الموضحة فى الشكل ٨ - ٥ ، د ، يقترب توزيع الاحمال من التساوى (الشكل ٨ - ٥ ، هـ) . وبتصميم التلاحم بهذا الشكل تسبب الاجهادات الكبيرة فى لوحى الوصلة الاقتراب من طرفيهما تشوهات كبيرة تبعا لذلك . وبفضل هذا تتلقى المسامير التالية المجاورة احمالا كبيرة .

انواع التحطم : ان وجود الخلوص بين ساق مسمار البرشام وبين الثقب يؤثر على طابع تحطم وصلة البرشام .

فمع تعرض الوصلة للتحميل الاستاتيكى ، تتحطم المسامير نتيجة لقص ساق المسمار (الشكل ٨ - ٦ ، أ) بغض النظر عن نوع وصلة البرشام . وعند



الشكل ٨ - ٦

الاحمال الاهتزازية يحدث تحطم للمسامير فى حالة البرشمة على الساخن ، نتيجة للكسر القصيف من تكرار الثنى والشد فى ساق المسمار الناتج عن الكلال (الشكل ٨ - ٦ ، ب) . وفى حالة البرشمة على البارد ، عندما لا يكون هناك خلوص بين المسامير وثقوبها ، يحدث التحطم نتيجة لاجهادات القص.
واذا كان مسمار البرشام يقع بالقرب من حافة الجزئين المبرشمين على مسافة (e) اقل من المعدل المقرر ، فيمكن حدوث قص عند الخطين ab ، cd (الشكل ٨ - ٦ ، حـ) .
واذا كان سمك الجزئين المراد برشمتهما ، قليلا ، لا يستبعد وقوع سحق فى جسم المسامير .

الحساب .

<u>متانة عناصر الوصلة</u> : تبعا للسمك (s) للاجزاء الموصلة ، يمكن اختيار الابعاد الاساسية فى الوصلة t ، e (الشكل ٨ - ٦ ، حـ) ، حسب المعدلات والقواعد الواردة فى المراجع الاعلامية .
ولنفرض ان قوة P تؤثر فى وصلة بها عدد i من مسامير البرشام ، وعلى ذلك يكون الحمل المطبق على قطاع من الوصلة عرضه t مساويا لخطوة وصلة البرشام

$$P_0 = \frac{P}{i}$$

واذا رمزنا للاجهاد الحادث فى المقطع ck الذى اضعفه الثقب بالرمز σ_1 وفى المقطع c_1k_1 بدون ثقب بالرمز σ_2 ، فانه مع اخذ معامل تركيز الاجهادات (k_σ) فى الاعتبار فى حالة الثقوب نحصل على

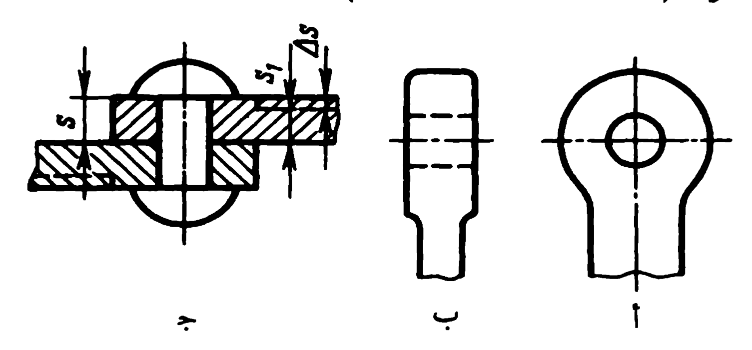
$$\sigma_{max} = k_\sigma \sigma_1 = k_\sigma \frac{P_0}{(t-d)s}, \quad \sigma_2 = \frac{P_0}{ts}$$

ومن هنا نجد ان معامل المتانة فى وصلة البرشام

$$\varphi = \frac{\sigma_2}{\sigma_{max}} \quad \frac{t-d}{k_\sigma t}$$

وفى حالة $k_\sigma = 1$ بالنسبة لوصلة احادية الصف واحادية القص (single shear) مثلا عندما تكون $t = 3d$ ، نحصل على $\varphi = 0.67$ ، مما يعنى تقليل المتانة فى الجزئين الموصلين بنسبة ٣٣ ٪ .
وللحصول على قيمة عالية للمعامل φ ، يسعى لزيادة مساحة مقاطع تلك المنطقة الضعيفة بفعل وجود الثقب لاجل البرشمة. وفى الوصلات ذات مسمار البرشام الواحد ، يتم التوصل الى ذلك بطرائق مبينة فى الشكل ٨ - ٧ ، أ (زيادة العرض) و ب (زيادة السمك) .

وفى الوصلات المصنوعة من مادة على هيئة الواح ، يؤدى الاضعاف بسبب الثقوب الى زيادة كبيرة فى وزن كل التركيبة . وفى الواقع اذا كان s_1 هو السمك المحسوب للوح اللازم للوصلة المجمعة بالبرشام مثلا فى وصلة طولية لمرجل بخار (الشكل ٨ - ٧ ، حـ) ، حيث معامل المتانة للوصلة



الشكل ٨ - ٧

يساوى φ ، فانه يلزم فى المكان الذى اضعف فيه اللوح بواسطة التثقيب للبرشام سمك

$$s = \frac{s_1}{\varphi}$$

وقد يكون من الانفع زيادة سمك المعدن فقط فى مواضع البرشام ، مثلما هو الحال فى وصلة البرشام ذات المسمار الواحد . الا ان الامكانيات الانتاجية لا تسمح باستخدام الواح اطرافها زائدة السمك . ولذلك يتحتم زيادة سمك كل اللوح بمقدار Δs .

حساب الوصلات المتينة المعرضة للاحمال الاستاتيكية . توجد طريقة للحساب قائمة على الافتراضات التالية :

أ - الحمل يوزع بالتساوى بين كل مسامير البرشام ،

ب - لا توجد قوى احتكاك بين العناصر المراد توصيلها بالبرشمة .

وعند حساب الوصلات المتينة للبرشام فى العادة يختار قطر البرشام ، وانطلاقا من الحمل العام ، يحدد عدد المسامير وفى بعض الاحيان يختار عدد مسامير البرشام ثم بعده يحسب قطر المسمار المعرض لاكبر حمل منها .

وفى حالة الحمل المطبق على طول خط التناظر ، ومع وجود عدد z من المقاطع المعرضة للقص الاحادى ، تكون معادلة المتانة :

$$P_0 = \frac{P}{i} \leqslant z \cdot \frac{\pi d^2}{4} [\tau]_s \tag{8.1}$$

وبناء عليه يكون عدد مسامير البرشام فى الوصلة

$$i \geqslant \frac{4}{\pi} \; \frac{P}{z d^2 [\tau]_s} \tag{8.2}$$

وعند حساب البرشام على السحق تكون معادلة المتانة

$$P_0 = \frac{P}{i} \leqslant sd\,[\sigma]_{com} \tag{8.3}$$

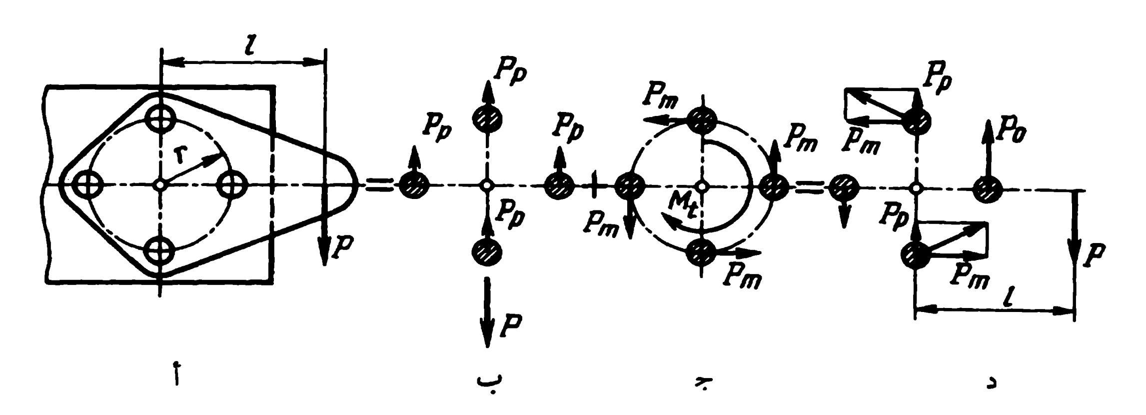
ويكون العدد اللازم للمسامير يساوى

$$i \geqslant \frac{P}{sd\,[\sigma]_{com}} \tag{8.4}$$

والعـــــدد الاكبر من المسامير المحددة من المعادلتين ، يؤخذ عند تصميم الوصلـة .

وفى المعادلتين (8.2) ، (8.4) ، d - قطر الثقب للمسمـــار بالسم ، s - اصغر سمك للاجزاء الموصلة بالسم ، $[\tau]_s$ ، $[\sigma]_{com}$ - اجهادا القص والسحق المسموح بهما بالكجم/ سم^2 .

ولمسامير البرشام المصنوعة من الصلب ٢ ، $[\tau]_s$ = ١٠٠٠ - ١٤٠٠ كجم/ سم^2 علما بان القيمة الاعلى تؤخذ عند التثقيب، والاقل فى حالــة التخريم (punching) . والاجزاء المراد توصيلها والمصنوعة من الصلـب ٢ ، ٣، $[\sigma]_{com}$ = ٢١٠٠ - ٢٤٠٠ كجم/ سم^2 .



الشكل ٨-٨

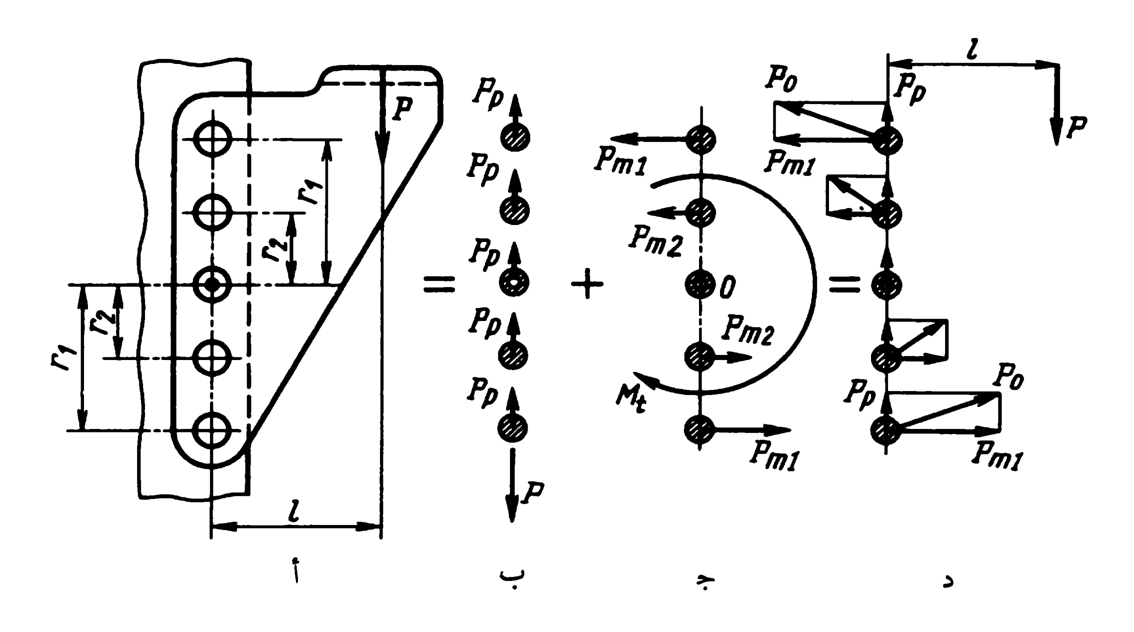
وعند تطبيق الحمل خارج خط التناظر (الشكل ٨ - ٨ ،أ) ، يستبـــدل تأثير الحمل ، بتأثير حمل مطبق على طول خط التناظر (الشكل ٨ - ٨ ، ب) وعزم (الشكل ٨ - ٨ ، حـ) . واكبر الاحمال المؤثرة على مسمار البرشام فى الوصلة المشار اليها (الشكل ٨ - ٨ ، د) .

$$P_0 = P_p + P_m = \frac{P}{i} + \frac{Pl}{ri} = \frac{P}{i}\ 1 + \frac{l}{r}$$

وللوصلة المبينة فى الشكل (٨ - ٩ ، أ) ، يكون الجهد (القوة) المؤثـــر على كل مسمار برشام من الحمل P (الشكل ٨ - ٩ ، ب) يساوى $P_p = \frac{P}{i}$ ، واكبر تحميل P_{m1} ناتج عن العزم Pl يكون من نصيب مسمار البرشام الطرفى ، وهو ابعد المسامير عن ما يسمى بمركز الجساءة 0 فى وصلـــة البرشام .

وحيث ان التشوه (الازاحة) تتناسب طرديا مع المسافات $r_1, r_2 \ldots$ وهى الابعاد عن مركز الجساءة 0 (الشكل ٨ - ٩ ، أ) ، تكون الاحمال المؤثرة على المسامير $P_{m1}, \quad P_{m2}$ متناسبة طرديا مع الابعاد $r_1, r_2 \ldots$

$$\frac{P_{m1}}{P_{m2}} = \frac{r_1}{r_2}; \qquad \frac{P_{m1}}{P_{m3}} = \frac{r_1}{r_3} \tag{8.5}$$



الشكل ٨ - ٩

والعزم الخارجى يجب ان يتوازن مع عزوم الاحمال المؤثرة على مسامير البرشام (الشكل ٨ - ٩ ، حـ) ، اى ان

$$Pl = 2P_{m1}r_1 + 2P_{m2}r_2 + \ldots$$

واذا عوضنا عن

$$P_{m2} = P_{m1}\frac{r_2}{r_1}; \quad P_{m3} = P_{m1}\frac{r_3}{r_1}, \ldots, \text{etc}$$

نحصل على

$$P_{m1} = \frac{Pl}{2\left(r_1 + \frac{r_2^2}{r_1} + \frac{r_3^2}{r_1} + \ldots\right)} = \frac{Plr_1}{2(r_1^2 + r_2^2 + r_3^2 + \ldots)}$$

ومن هنا فان الحمل على اكثر المسامير تحميلا (شكل ٨ - ٩ ، د)

$$P_0 = \sqrt{P_p^2 + P_{m1}^2}$$

ومسامير البرشام فى الوصلة لها نفس الاقطار ، ويعين هذا القطر بتعيين P_0 من المعادلتين (8.1) و (8.3) .

<u>حساب الوصلات المتينة المعرضة للاحمال المتغيرة</u> . اذا كان الحمل المؤثر على الوصلة هو حمل يتغير فى الاشارة، فان الاجهادات المسموح

بها للتركيبة المصنوعة من الصلب الكربونى المنخفض، تنخفض فى قيمتها ، وذلك بضربها فى معامل تصحيح γ الذى يعين من الصيغة التالية

$$\gamma = \frac{1}{1 - 0.3\,\frac{P_{min}}{P_{max}}}$$

والقوتان P_{min} ، P_{max} تدخلان فى الصيغة كل منها باشارتها .

حساب الوصلات المتينة المحكمة . والوصلات من هذه المجموعة يجب ان تكون لا متينة فحسب ، بل ومحكمة ايضا . ويمكن التوصل الى الاحكام بشرط عدم وجود ازاحة نسبية بين اللوحين .

والقيمة التى توصف الاحكام لا يمكن تحديدها نظريا ، لذلك فان مقاومة الانزلاق النسبى بين اللوحين ، والتى تبديها قوى الاحتكاك تعين تجريبيا بصورة ما يسمى بمعامل الانزلاق .

ومعامل الانزلاق - هى قوة مقاومة الانزلاق بين لوحين ، وتعين افتراضيا بالنسبة لوحدة المساحات فى مقاطع مسامير البرشام :

$$\xi = \frac{P'_0}{zk\,\frac{\pi d^2}{4}} \leqslant [\xi] \tag{8.6}$$

حيث P'_0 - الجهد (الحمل) المطبق على اللوح فى قطاع الخطوة. وللوصلة الطولية لمرجل بخار $P'_0 = \frac{Dpt}{2}$ ، وللوصلة العرضية فيه $P'_0 = \frac{Dpt}{4}$.
و D تساوى القطر الداخلى للمرجل (او الخزان) ، p - ضغط البخار (او الغاز .. الخ)، k -عدد مسامير البرشام الموجودة فى قطاع عرضه يساوى مقدار الخطوة ، z -عدد المقاطع المعرضة فى وقت واحد للقص،
$[\xi]$ - القيمة المسموح بها لمعامل الانزلاق والتى تعتمد على نوع الوصلة (الجدول ٨ - ٢) .

وعند اعطاء قطر المرجل D ، وضغط البخار p ، يختار معامل المتانة γ من الجدول (٨ - ٢) ، وفقا لـ $c = \frac{Dp}{2}$.
سمك جدار المرجل

$$s = \frac{Dp}{2\varphi[\sigma]_t} + \Delta \tag{8.7}$$

حيث $[\sigma]_t$ - الاجهاد المسموح به بالكجم/سم٢ والمختار باعتبار نوع الوصلة، والخواص الميكانيكية للمادة ودرجة حرارة الجدار، وهو يتراوح من ٧٠٠ الى ١١٠٠ كجم/سم٢ ، Δ = ١ر٠ الى ٣ر٠ سم سماح التآكل .

وبمعرفة s من الجدول ٨ - ٢ يحدد كل من d ، t ومن المعادلة (8.6) تحسب قيمة ξ وهى لا يجب ان تتعدى $[\xi]$ الموجودة من الجدول ٨ - ٢ .

ومن اجل الحصول على وصلة اكثر احكاما تجرى عملية جلفطة (calking)، بعد البرشمة وهى تنحصر فى طرق اطراف اللوح بطرقات مطرقة على عدة خاصة لها شكل اجنة بطرف غير حاد .

الجدول ٨ - ٢

المواصفات الاساسية للوصلات المتينة المحكمة

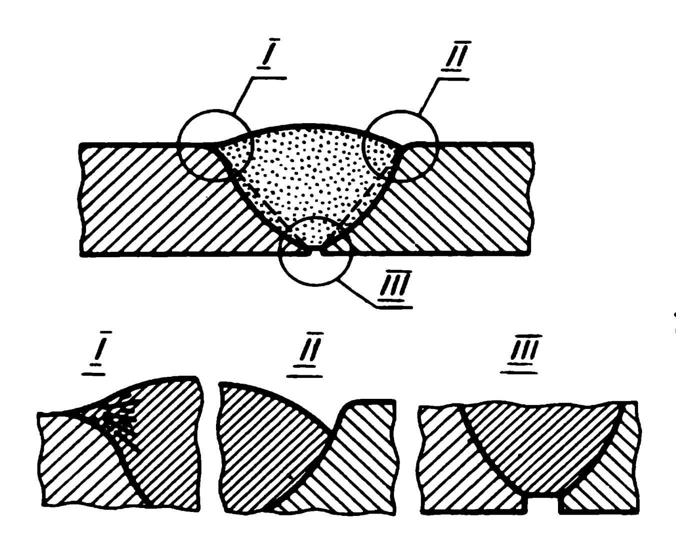
نوع الوصلة	$c = \frac{Dp}{2}$ kgf /cm	قطر مسمار البرشام d مم	الخطوة t مم	$\varphi = \frac{t-d}{t}$	[ε] kgf/cm[2]
تراكبية احادية الصف (شكل ٨ -٢ ، أ)	حتى ٥٠٠	$s + 8$	$2d + 8$	٠ر٥٦ - ٠ر٦٠	٧٠٠-٦٠٠
تراكبية ثنائية الصف (شكل ٨ -٢ ، ب)	٩٥٠-٣٥٠	$s + 8$	$2.6d + 15$	٠ر٧٠	٦٥٠-٦٠٠
تراكبية ثلاثية الصفوف (شكل ٨ -٢ ، حـ)	١٣٥٠-٤٥٠	$s + (6 \div 8)$	$3d + 22$	٠ر٧٥	٦٠٠-٥٥٠
وصلة تناكب ثنائية الصف بغطائين (شكل ٨-٢ ، أ)	١٣٥٠-٤٥٠	$s + (5 \div 6)$	$3.5d + 15$	٠ر٧٥	(٥٧٥-٤٧٥)٢
وصلة تناكب ثلاثية الصفوف بغطائين (شكل ٨-٢ ، ط)	٢٣٠٠-٤٥٠	$s + 5$	$6d + 20$	٠ر٨٥	(٥٥٠-٤٥٠)٢

الباب التاسع

وصلات اللحام

معلومات عامة

ان وصلة اللحام هى توصيل بين الاجزاء غير قابل للفك بمساعدة درزة اللحام.
واذا كان اللحام بالقوس الكهربى رديئا ، يمكن أن تحتوى منطقة اللحام على عيوب مختلفة (الشكل ٩ - ١) اهمها احتواء اللحام على الخبث والاكاسيد الناتجة فى النقط الحاكمة على هيئة سلسلة أو شرائط (I) ، ووجود قطع تحتى (II) ، وعدم كفاية طبقة التلاحم (III) ، عند قاعدة منطقة التلاحم. وتخفض هذه العيوب من متانة وصلة اللحام وخصوصا فى حالات الاحمال المتغيرة عندما يكون تأثيرها كمركزات للاجهادات كبيرا بشكل خاص.



الشكل ٩ - ١

واللحام الآلى تحت طبقة من مساعد الصهر (flux) يضمن الحصول على لحامات اكثر تجانسا ومتانة من حالة اللحام اليدوى.

المزايا والعيوب. يضمن استخدام اللحام بدلا من وصلات البرشام لتنفيذ الوصلات غير القابلة للفك فى اجزاء الماكينات، عدة مزايا. واهمها الاقتصاد فى المعدن والتقليل من حجم العمل. ويتم التوصل للاقتصاد فى المعدن بفضل عدم وجود الثقوب التى تضعف المقاطع العاملة، كما يقل وزن العناصر المراد توصيلها بوجود امكانية الاستخدام الواسع لوصلات التناكب التى لا تتطلب عناصر اضافية على هيئة أغطية للوصلة. ويصل هذا الاقتصاد فى المتوسط الى ١٠ - ٢٠ ٪ . ويؤدى ايضا الى انخفاض حجم العمل وزيادة الانتاجية.

واستخدام اللحام بدلا من السباكة عند تجهيز اجزاء الماكينات يؤدى الى تخفيض سعة المعدن فيها نتيجة لتقليل السماح فى الابعاد لغرض التشغيل، وتقليل ابعاد المقاطع حيث ان سمك جدران الاجزاء المسبوكة الذى يتحدد فى كثير من الاحوال بسبب تكنولوجيا السباكة، كقاعدة عامة، اكبر من حالات الاجزاء المنتجة باللحام، وتبلغ الزيادة فى بعض الاحيان اكبر من الضعف. والاقتصاد فى المعدن فى الاجزاء المنتجة باللحام يمكن أن يصل الى ٤٠ ٪ بالمقارنة مع اجزاء الماكينات المسبوكة.

واستخدام اللحام الكهربي لصنع اجزاء الماكينات يكون دائما انفع في ظروف الانتاج بالقطعة او بالدفعات الصغيرة، حيث توزع تكلفة نماذج السباكة على عدد قليل من المصنوعات المنتجة.

وتكمن عيوب عملية اللحام في ظهور التشوهات الحرارية، وكذلك في استحالة استخدام اللحام للاجزاء المصنوعة من المواد الصعبة التلاحم.

التصنيف . تنقسم وصلات اللحام حسب اغراض استخدامها، الى وصلات متينة ووصلات متينة محكمة. والوظائف التى تقوم بها، مثلها مثل وظائف وصلات البرشام : نقل القوى من عنصر الى اخر فى الوصلات المتينة، مضافا اليها عدم نفاذ السوائل والغازات للوصلات المتينة المحكمة.

وهناك الانواع التالية من وصلات اللحام : وصلات التناكب ووصلات التراكب ، أو الوصلات ذات الاغطية، ووصلات على شكل حرف T ووصلات ركنية. والشكل (٩ - ٢) يبين الانواع الاساسية للحامات المستخدمة فى مختلف الوصلات، ويوضح نفس الشكل ايضا الرموز المصطلح عليها للحامات : الرموز بالرسم، والرموز بالحروف والارقام.

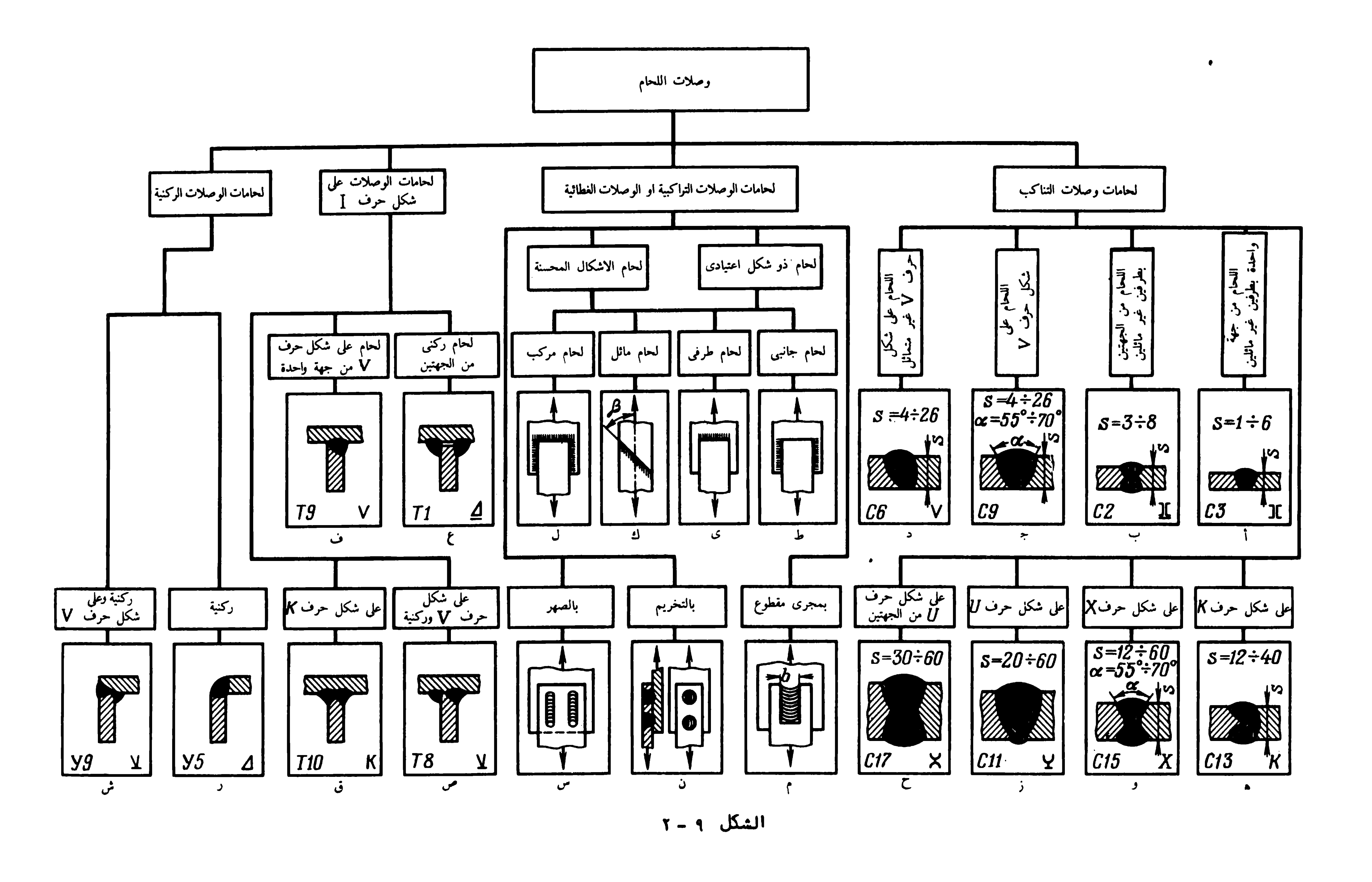
واللحامات المخصصة لتوصيل العناصر الواقعة فى مستوى واحد ، تسمى بوصلات التناكب . ويحدد نوع لحام التناكب بشكل اطراف العناصر المراد توصيلها (الشكل ٩ - ٢ ، أ - حـ).

واذا قارنا بين اللحامات على شكل حرف (V) واللحامات على شكل حرف (U)، نجد أن استهلاك الطاقة الكهربية ومادة الالكترود (سلك اللحام) فى حالة اللحام على شكل حرف (U) اقل ، اذ أن مقطع هذا اللحام أقل فى المساحة من حالة اللحام على شكل حرف (V) مع ثبات سمك اللوح . والميزة الاخرى للحامات (U) هى فى انه فى حالة الميل القليل لاطراف الالواح ، يحدث انكماش للمعدن المنصهر ، عند التبريد ، فى كل المقطع بانتظام تقريبا ، لذلك يكون اعوجاج الالواح اقل مما هو عليه بالنسبة للحامات على شكل حرف (V).

واللحامات على شكل حرفى (U) و(X) تنافس بنجاح لحامات حرف (V) عند لحام الالواح بسمك ابتداء من ١٢ مم ، وذلك لان لحامات (U) و (X) ذات الزاوية (α) المساوية لحالة لحامات (V)، تتمتع بمساحات مقطع اللحام اقل بنسبة ٣٠-٤٠ ٪ . وعيوب لحامات (X) و (U) من الجهتين : امكانية عدم نفاذ اللحام فى وسط منطقة اللحام، والتكلفة الكبيرة لاعداد الاطراف وخصوصا فى حالة لحامات حرف (U).

والانواع المذكورة للحامات التناكب والمنفذة يدويا بالقوس الكهربى تخضع للمواصفات القياسية الحكومية ، وتستخدم بشكل واسع عند صنع اجزاء الماكينات باللحام. وفى حالة اللحام الآلى بالقوس الكهربى ، يختلف نوعا ما اعداد اطراف العناصر المراد توصيلها ، وفى الاساس بالنسبة لزاوية الميل (α) التى تتراوح فى هذه الحالة بين ٣٠° و ٥٠° .

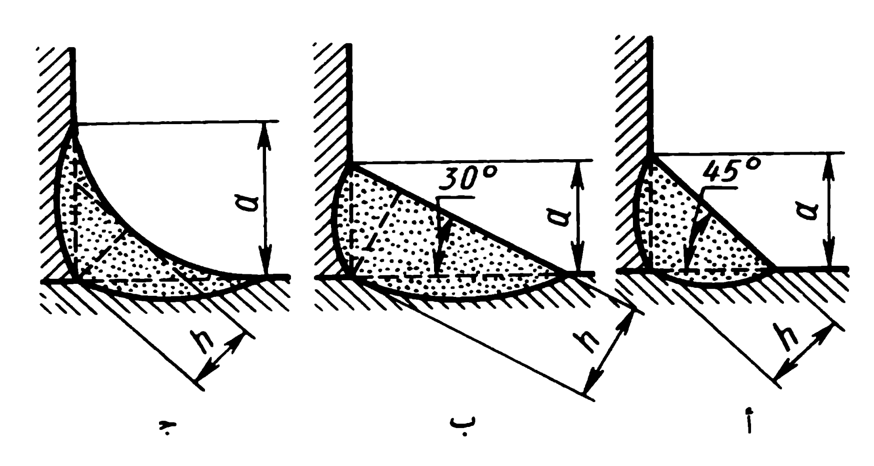
واللحامات المخصصة لتوصيل العناصر الواقعة فى مستويات مختلفة،



وصلات اللحام
لحامات وصلات التناكب
لحامات الوصلات التراكبية او الوصلات الغطائية
لحامات الوصلات على شكل حرف I
لحامات الوصلات الركنية
اللحام من جهة واحدة بطرفين غير مائلين
اللحام من الجهتين بطرفين غير مائلين
اللحام على شكل حرف V
اللحام على شكل حرف V غير متماثل
s=1÷6
s=3÷8
s=4÷26
α=55°÷70°
s=4÷26
C3
C2
C9
C6
لحام ذو شكل اعتيادى
لحام الاشكال المحسنة
لحام جانبى
لحام طرفى
لحام مائل
لحام مركب
لحام ركنى من الجهتين
لحام على شكل حرف V من جهة واحدة
T1
T9
على شكل حرف K
على شكل حرف X
على شكل حرف U
على شكل حرف U من الجهتين
s=12÷40
s=12÷60
α=55°÷70°
s=20÷60
s=30÷60
C13
C15
C11
C17
بمجرى مقطوع
بالتخريم
بالصهر
على شكل حرف V وركنية
على شكل حرف K
ركنية
ركنية وعلى شكل حرف V
T8
T10
У5
У9
أ
ب
ج
د
ط
ى
ك
ل
ع
ف
هـ
و
ز
ح
م
ن
س
ص
ق
ر
ش

الشكل ٩ - ٢

تسمى باللحامات الركنية . وتبعا لشكل مقطع اللحام تنقسم الى لحامات اعتيادية بمقطع على شكل مثلث متساوى الساقين (الشكل ٩ - ٣، أ) ،

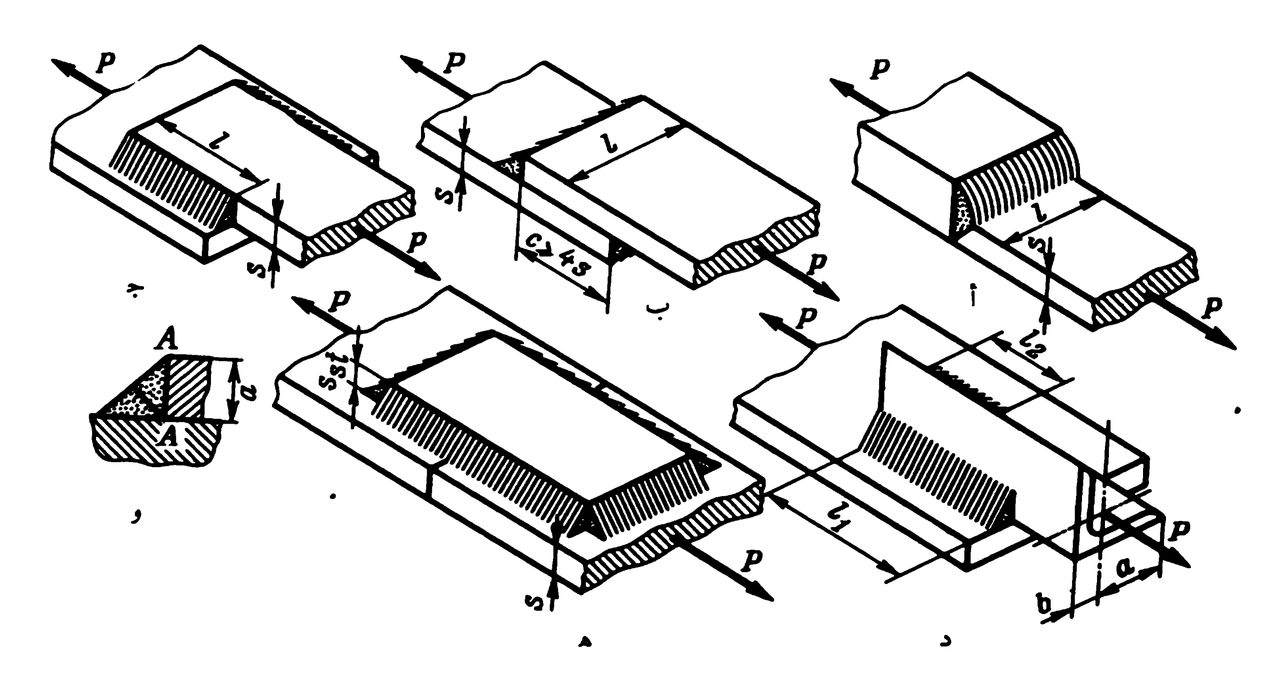


الشكل ٩ - ٣

ولحامات محسنة بمقطع على شكل مثلث قاعدته اكبر من ارتفاعه (الشكل ٩ - ٣، ب)، ولحامات محسنة ذات مقطع على شكل مثلث منحنى (الشكل ٩ - ٣، جـ). والشكل الاساسى فى اللحامات الركنية يعتبر الاول (الشكل ٩ - ٣، أ) .

التصميم

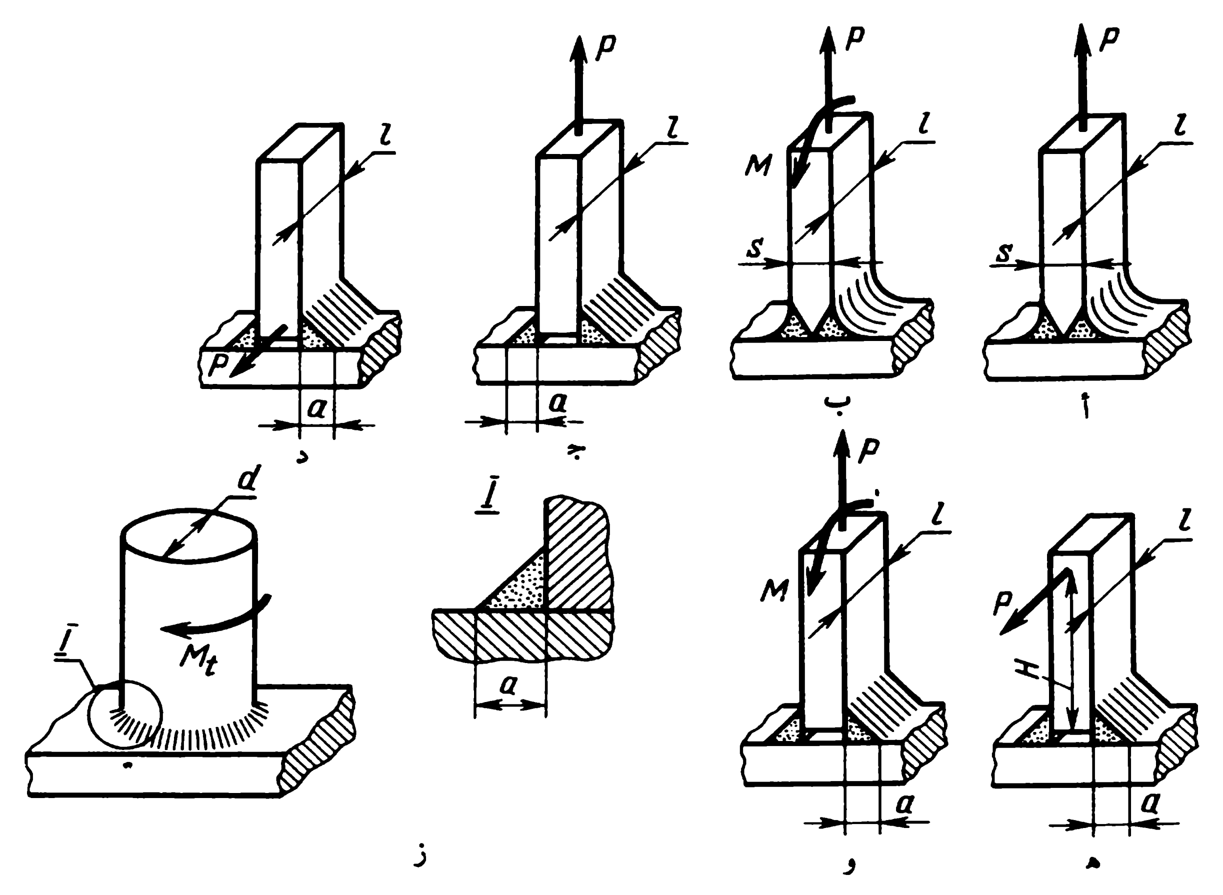
فى التركيبات الملحومة تعتبر وصلات التناكب هى الاكثر انتشارا وذلك بسبب بساطتها وكفاءتها . ويمكن تنفيذ الوصلات من هذا النوع، للعناصر من أسماك مختلفة (الشكل ٩ - ٤، أ) . ويعتمد اعداد الاطراف للحام



الشكل ٩ - ٤

30 Зак. 3819

على سمك العنصرين المراد لحامهما (الشكل ٩ – ٢، أ – ح).
وصلات التراكب يمكن تنفيذها بواسطة لحام طرفي واحد او لحامين طرفيين (الشكل ٩ – ٤ ،ب)، وبواسطة لحامات جانبية (الشكل ٩-٤، ج)، وبلحامات مركبة أو بمجرى مقطوع، وغيرها (انظر الشكل ٩ – ٢). والارتفاع الرأسي الادنى للحام $a_{min} = 3$ mm عندما تكون أسماك الالواح المراد توصيلها $s \geqslant 3$mm . والطول الادنى للحام الزاوية $l_{min} = 30$ mm . واذا استخدمت اطوال أقل من ذلك تتسبب العيوب في بداية ونهاية اللحام في تخفيض ملموس لمتانته . وتوصيل العناصر بالتراكب ،وذات الاشكال الهندسية المختلفة موضح في الشكل ٩ – ٤، د .
والوصلات ذات الاغطية يمكنها أن تكون اما من جهة واحدة مع لحام تناكب بين العنصرين المراد توصيلهما أو بدونه (الشكل ٩ – ٤، هـ)، واما أن تكون من الجهتين. وعند استخدام غطاء من جهة واحدة، يجب أن يكون سمك الغطاء $s_{st} = (0.7 - 1)s$ ، وعند استخدام الوصلة ذات الغطائين ، يكون سمك الغطاء $s_{st} = (0.3 - 0.5)s$.
الوصلات على شكل حرف T : وتستخدم للعناصر الموجودة متعامدة على بعضها البعض. وفيها يمكن للحامات أن تكون لحامات تناكبية (الشكل ٩- ٥، أ) او لحامات ركنية (الشكل ٩ – ٥ ، ج). واللحامات الركنية



الشكل ٩ – ٥

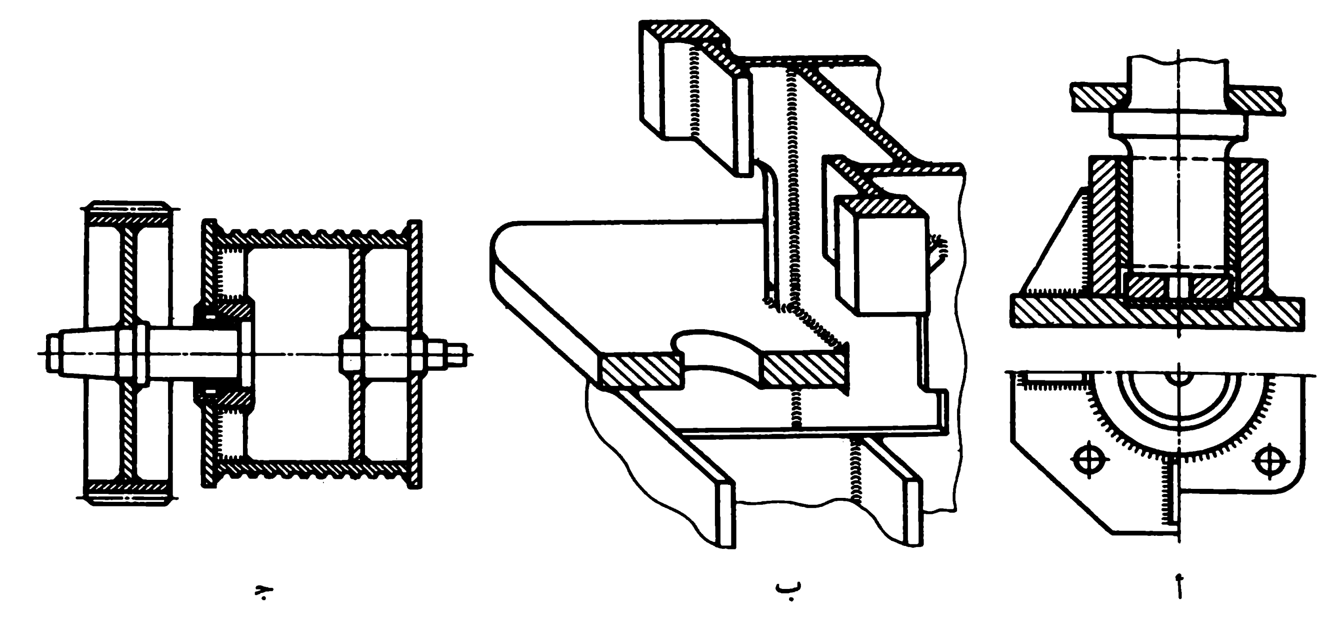
(الشكل ٩ – ٢ ، ر، ش) تعتبر حالات خاصة من لحامات حرف T .
ويوضح الجدول ٩ – ١ بعض تركيبات وصلات اللحام واجزاء الماكينات الملحومة .

الجدول ٩ - ١

بعض تركيبات الاجزاء الملحومة ووصلات اللحام

ارشادات عامة	جيد	ردئ
تقليل عدد العناصر الملحومة واللحامات والزعانف وتستخدم اللحامات المزدوجة فقط فى حالة القيم الكبيرة للقوى المطبقة	بكرة حبال	
يجب الا توجد اللحامات فى مستويات الانفصال. وتصنع اللحامات الداخلية فقط فى اجسام الماكينات الثقيلة	جزء من جسم	
تصنع حافة العجلة من صلب شرائح وتفتح الاسنان بحيث يكون اللحام واقعا بينها. ولا تعالج الحافة والسرة قبل اللحام	عجلة مسننة	
لا تقطع الزعانف (الضلوع) وانما تصنع من صلب شرائح، ويجب أن تغطى حافة البكرة الزعانف وتخرج عنها	بكرة كابحة ضلع	ضلع
يجب قطع زاوية الضلع بغية تجنب تلاقى اللحامات		
لحامات زيادة المتانة يجب أن تكون من الداخل		
قاعدة اللحام لا يجب أن توجد فى منطقة الشد		

والشكل ٩ - ٦ يوضح ركيزة سفلية لعمود مرفاع دوار (أ)، وجزء من قاعدة مكبس لا مركزى (ب) ، وعجلة ذات بكرة لآلية الرفع فى المرفاع (جـ).



أ ب جـ

الشكل ٩ - ٦

وفعالية استخدام اللحام عند صنع مختلف اجزاء الماكينات، تتحدد بمراعاة العديد من العوامل التكنولوجية والتصميمية (نوع الوصلة، وشكل زعانف الجساءة، والتوزيع الرشيد للحامات ... الخ).

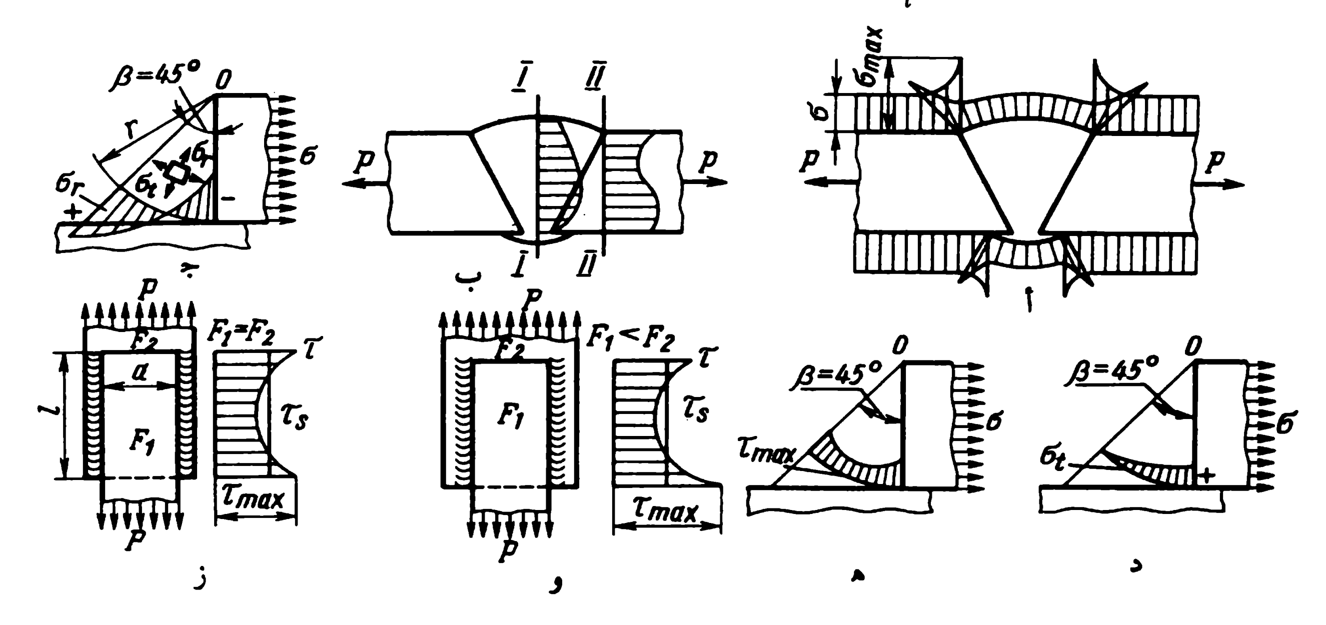
الاحمال

عند نقل الحمل من عنصر الى آخر، تظهر اجهادات موضعية كبيرة، تتحدد قيمتها بالعيوب التكنولوجية للحامات وشكلها وتركيب الوصلة .
ولحامات التناكب تعتبر افضل ، اذ ان تركيز الاجهاد بها غير كبير. ويوضح الشكل (٩ - ٧ ، أ) منحنيات توزيع الاجهادات العمودية المؤثرة فى اتجاه عمودى على اللحام . وهذه المنحنيات وجدت تجريبيا باستخدام طريقة تصوير المرونة (phœoelastic method) وفى حالة الابعاد النسبية غير الموفقة فى اللحام يمكن ان تصل σ_{max} الى 1.6σ ومنحنيات توزيع الاجهادات العمودية على سمك اللحام فى المقطعين (I – I) و (II – II) ، موضحة فى الشكل ٩ - ٧ ، ب .
ومنحنيات توزيع الاجهادات فى اللحامات الطرفية يتم التوصل اليها بطريقة نظرية المرونة بافتراض أن اللحام هو عبارة عن اسفين يؤثر عليه حمل موزع بانتظام من جهة واحدة . ومنحنيات الاجهادات على قوس محيطى بنصف قطر r مركزه فى قمة الاسفين، موضحة فى الشكل ٩ - ٧ (جـ - الاجهادات العمودية القطرية σ_r ؛ د - الاجهادات المحيطية العمودية σ_t ؛ هـ - الاجهادات المماسية الرئيسية τ_{max}) وفى اللحامات

المثلثية بزاوية $\beta = 60^\circ$ تكون τ_{max} نصف قيمتها عند $\beta = 45^\circ$.

والاجهادات على طول اللحام الجانبى توزع بصورة غير منتظمة ، فاذا كانت اللحامات الجانبية توصل بين عناصر مختلفة الجساءة، فان الاجهاد فى اللحام الجانبى يكون اكبر من جانب الشريحة التى لها مساحة مقطع اقل (الشكل ٩ - ٧ ،و).

ودرجة عدم انتظام توزيع الاجهادات ومعامل تركيز الاجهادات يتزايدان مع زيادة النسبة $\frac{a}{l}$ (الشكل ٩ - ٧ ،ز).



الشكل ٩ - ٧

واتجاه القوى وطابع توزيع الاجهادات فى المقاطع الخطرة من عناصر الوصلة مبينان فى الشكل ٩ - ٨ ، أ - هـ . ويجب مراعاة أن تركيز الاجهادات فى كل الحالات المشار اليها يوجد حتى اللحظة التى تزيد فيها الاجهادات عن حد الخضوع .

وفى حالة الحمل الاستاتيكى لا يؤثر تركيز الاجهادات على متانة الوصلة المصنوعة من الصلب الكربونى المنخفض (الحديد المطاوع).

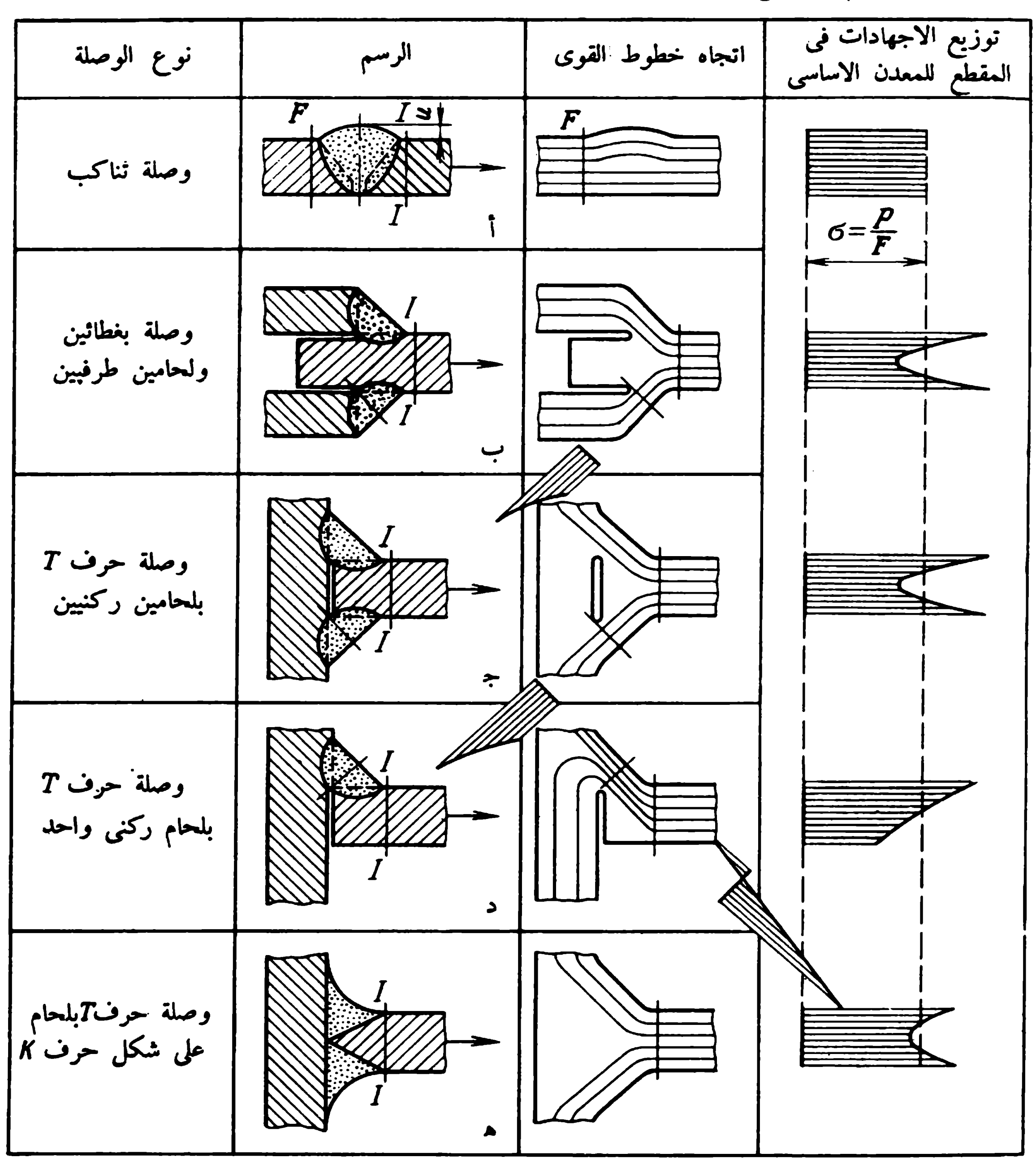
ومتانة وصلات اللحام عند الاحمال المتغيرة تعتمد بدرجة كبرى على جودة اللحام وتصميم الوصلة.

وفى وصلات التناكب فان مجرى خطوط القوى يكون مستقيما تقريبا . والوصلات من هذا النوع (الشكل ٩ - ٨، أ) تعتبر احسن الوصلات المصنوعة من اللحامات الركنية .

ووصلات التراكب مع استعمال اغطية للوصلة تتمتع بمتانة منخفضة فى حالة الاحمال المتغيرة بسبب عدم الانتظام الكبير فى توزيع الاجهادات على مقطع اللحام وفى المعدن الاساسى (الشكل ٩ - ٨ ،ب). ويجب قدر الامكان تجنب الوصلات ذات اللحامات الجانبية، نتيجة عدم الانتظام الاضافى فى الاجهادات على طول خط اللحام، وذلك عند وجود الاحمال المتغيرة.

وحد الاطاقة للوصلة على شكل حرف T ذات اللحام بشكل حرف K

(الشكل ٩ ـ ٨ ، هـ) اعلى بكثير من مثيلتها ذات اللحامات الركنية .
ومتانة الكلال لوصلات اللحامات الركنية ذات المقاطع المحسنة (الشكل ٩ ـ ٣ ، ب ، حـ) اعلى من خلافها .



الشكل ٩ ـ ٨

ان عملية نفخ المقذوفات أو الدلفنة بالاسطوانات فى منطقة اللحام فى حالة التركيبات المصنوعة من الصلب ذى نسبة الكربون المنخفضة ، تزيد من متانتها فى احوال الاحمال المتغيرة.

الحساب

الحساب فى حالات الاحمال الاستاتيكية . ان حساب اللحامات قائم على الافتراضات التالية :

أ - تتوزع القوة بانتظام على طول اللحام ؛
ب - يتوزع الاجهاد بانتظام على المقطع العامل .
وتحسب لحامات التناكب على القص والضغط ، يؤخذ كارتفاع للحام السمك الاصغر بالنسبة للوحى وصلة التناكب (الشكل ٩ - ٤ ،أ) .
وبغض النظر عن نوع لحام التناكب ، فان طوله العامل فى الوصلات المعرضة مثلا للشد يتحدد حسب الصيغة :

$$l = \frac{P}{s\,[\sigma]_{t\,(com)}} \quad (9.1)$$

حيث P - الحمل المؤثر على اللحام ، كجم ؛ $[\sigma]_{t\,(com)}$ - الاجهاد المسموح به لوصلة اللحام فى حالة الشد أو الضغط بالكجم/ سم٢، والمختار من الجدول ٩ - ٢ تبعا لنوع الالكترود (سلك اللحام) ، والاجهاد المسموح به للمعدن الاساسى .

الجدول ٩ - ٢

الاجهادات المسموح بها للحامات فى حالة الاجهادات الاستاتيكية

طريقة اللحام	الاجهادات المسموح بها		
	الشد $[\sigma]'_t$	الضغط $[\sigma]'_{com}$	القص $[\tau]'_s$
لحام يدوى بالقوس الكهربى مع استخدام الالكترودات 942 لحام غازى	$0.9[\sigma]_t$	$[\sigma]_t$	$6.0[\sigma]_t$
لحام بالقوس الكهربى اوتوماتيكى باستخدام مساعد الصهر، ولحام يدوى بالالكترودات 942A لحام تناكبى بالمقاومة مع الصهر الجزئى	$[\sigma]_t$	$[\sigma]_t$	$0.65[\sigma]_t$
لحام نقطى بالمقاومة	——	——	$0.6[\sigma]_t$

ملحوظة : $[\sigma]_t$ - الاجهاد المسموح به فى حالة الشد للمادة التى تصنع منها العناصر المراد توصيلها .

وعندما يكون طول اللحام مساويا لعرض الجزئين المراد لحامها ($l = b$)، يكون معامل متانة لحام التناكب المعرض لاجهاد الشد

$$\varphi = \frac{ls[\sigma]_t'}{bs[\sigma]_t} = \frac{[\sigma]_t'}{[\sigma]_t}$$

وعلى ذلك فان تساوى الوصلة فى المتانة مع المعدن الاساسى ($\varphi = 1$) يكون ممكنا عندما تكون $[\sigma]_t' = [\sigma]_t$. واذا ما كانت $[\sigma]_t' < [\sigma]_t$ تكون متانة وصلة التناكب ذات الاطراف القائمة اقل من متانة وصلة العنصر قبل التوصيل $\varphi < 1$.

واستخدام اللحام المائل يزيد من متانة الوصلة . فاذا كان اللحام يشكل مع خط تأثير الحمل زاوية $\beta = 45°$ فان الوصلة والمعدن الاساسى فى العناصر المصنوعة من صلب منخفض فى نسبة الكربون يتمتعان بنفس المتانة .

وبالنسبة للحام على شكل حرف K فى وصلة حرف T المعرضة لتأثير قوة شد P (الشكل ٩ ـ ٥ ، أ)، تكون معادلة المتانة :

$$\sigma = \frac{P}{sl} \leqslant [\sigma]_t'$$

ومنها يكون الطول الادنى الضرورى للحام

$$l = \frac{P}{s[\sigma]_t'} \text{ cm} \tag{9.2}$$

وهنا يكون السمك العامل للحام مساويا السمك (s) للعنصر المراد لحامه. واذا ما كان يؤثر على هذه الوصلة فى نفس الوقت بجانب القوة P ، عزم M (الشكل ٩ ـ ٥ ،ب) تأخذ معادلة المتانة الشكل :

$$\sigma = \frac{P}{sl} + \frac{6M}{sl^2} \leqslant [\sigma]_t' \tag{9.3}$$

واللحامات الركنية الطرفية تحسب على القص . ويعتبر المقطع ($A - A$) (الشكل ٩ ـ ٤ ، و) هو المقطع الخطر . والارتفاع الحسابى للحام عندما يكون مقطعه على شكل مثلث قائم الزاوية ومتساوى الساقين $h = a \sin 45° \approx 0.7a$ حيث a هو البعد الرأسى للحام . وبالنسبة للحامات الركنية من مختلف الانواع يكون ارتفاع اللحام h كما هو مبين فى الشكل ٩ ـ ٣ ، أ ـ ج) .

وبالنسبة للحام الركنى من الجهتين (الشكل ٩ ـ ٤ ، ب) تأخذ معادلة المتانة الشكل التالى :

$$P = 2hl[\tau]_s' = 2 \times 0.7al[\tau]_s'$$

ومن هنا يكون الطول اللازم للحام

$$l = \frac{P}{1.4a[\tau]_s'} \tag{9.4}$$

حيث $[\tau]'_s$ ـ اجهاد القص المسموح به للمعدن المصهور بالكجم / سم٢ والمختار من الجدول ٩ ـ ٢ ، تبعا لقيم $[\sigma]_t$ للمعدن الاساسى .

وفى حالة كون طول اللحام l مساويا لعرض العناصر المراد لحمها b ، و $a = s$ ، يكون معامل متانة الوصلة مساويا

$$\varphi = \frac{2 \times 0.7 al [\tau]'_s}{sb [\sigma]_t} = 1.4 \frac{[\tau]'_s}{[\sigma]_t}$$

ومن هنا يتضح أن تساوى اللحام فى المتانة مع المعدن الاساسى يصبح ممكنا عندما تكون $[\tau]'_s = 0.7[\sigma]_t$ أى استعمال الالكترود 342A فى عملية اللحام (الجدول ٩ ـ ٢) .

كما تحسب اللحامات الجانبية ايضا على القص. والطول l اللازم للحام الجانبى (الشكل ٩ ـ ٤ ، جـ) يمكن تعيينه من الصيغة (٩ ـ ٤) .

واذا كانت اللحامات الجانبية موجودة فى غير تماثل بالنسبة للحمل المؤثر، فيؤخذ طول كل لحام بالتناسب العكسى مع بعد اللحام عن خط تأثير الحمل (عن مركز ثقل المقطع، مثلا الزاوية) . وباستخدام الرموز الموضحة فى الشكل ٩ ـ ٤ ، د

$$l_1 : l_2 = a : b;$$

حيث ان الطول الكلى للحامات . $l_2 + l_1 = l$ فان

$$l_1 = l \frac{a}{a+b}; \quad l_2 = l \frac{b}{a+b}$$

والحمل المسموح به بالنسبة لكل لحام

$$P_1 = 0.7 al_1 [\tau]'_s; \quad P_2 = 0.7 al_2 [\tau]'_s$$

أما الحمل الكلى المؤثر على الوصلة

$$P = P_1 + P_2 = 0.7 a (l_1 + l_2) [\tau]'_s = 0.7 al [\tau]'_s$$

واللحامات المركبة تحسب على اساس مبدأ استقلال تأثير القوى. فبالنسبة للحام الجانبى والطرفى (الشكل ٩ ـ ٤ ، هـ) يكون حمل الامان الذى يمكن لهذا اللحام تحمله

$$P = P_{fl} + P_{end} = h \Sigma l [\tau]'_s = 0.7 a \Sigma l [\tau]'_s$$

ومن هنا نجد أن الطول الاجمالى لكل اللحامات (الجانبية والطرفية) بالنسبة لارتفاع اللحام المعلوم a يكون

$$\Sigma l = \frac{P}{0.7 a [\tau]'_s} . \qquad (9.5)$$

واللحامات الركنية في الوصلات حرف T تحسب سواء اكانت جانبية أو طرفية في حالة اذا ما كانت القوة تؤثر عموديا على المستوى الذى تقع فيه اللحامات (الشكل ٩ ـ ٥ ، جـ) ، او موازية لهذا المستوى مع وجود انحراف قليل عن المركز (الشكل ٩ـ٥ ، د) . واذا كان الانحراف عن المركز كبيرا (الشكل ٩ـ٥ ، هـ) تحسب اللحامات على التأثير المشترك لعزم الانحناء وقوة القص حسب معادلة الاجهادات المجمعة.

والاجهاد في اللحام الناشئ من قوة القص P :

$$\tau_1 = \frac{P}{0.7F} \quad ، \quad \text{حيث} \quad F = 2al$$

والجهد في اللحام من العزم PH يساوى :

$$\tau_2 = \frac{PH}{0.7W} \quad ، \quad \text{حيث} \quad W = \frac{2al^2}{6} = F\frac{l}{6}$$

والمعامل ٧ر. المضروب في W ، F ، يأخذ في الاعتبار امكانية التحطم في المقطع الخطر - في المستوى المنصف للحام (انظر الشكل ٩ - ٤ ، و) .

والاجهاد المجمع يساوى :

$$\tau = \sqrt{\tau_1^2 + \tau_2^2} = \frac{P}{0.7F}\sqrt{1 + \left(\frac{6H}{l}\right)^2} \leqslant [\tau]'_s \tag{9.6}$$

واذا كانت الوصلة موضع البحث معرضة لتأثير عزم انحناء M وقوة P كما يظهر في الشكل ٩ - ٥ ، و ، تكون معادلة المتانة للحام

$$\tau = \frac{M}{0.7W} + \frac{P}{0.7F} \leqslant [\tau]'_s \tag{9.7}$$

وتبعا للشكل الخارجي لخط اللحام يعوض في المعادلتين ,(9.7) و (9.6) بالقيمتين المناسبتين لـ W و F .

واذا كان قضيب قطره d ملحوم بلحام دائرى ركني ، معرضا لتأثير عزم لى M_t (الشكل ٩ - ٥ ، ز) ، فان القيمة اللازمة للارتفاع الرأسي للحام يمكن ايجادها بالطريقة التالية :

وعزم اللى الذى يمكن ان ينقله اللحام الذى طوله ١ ، يساوى

$$\Delta M_t = 1 \times 0.7a[\tau]'_s \frac{d}{2}$$

وبناء عليه :

$$M_t = \pi d \Delta M_t = \frac{0.7}{2}\pi d^2 a[\tau]'_s ,$$

$$a = \frac{2M_t}{0.7\pi d^2 [\tau]'_s} \tag{9.8}$$

وتحسب اللحامات ذات المجرى المقطوع على القص ، ويقطع المجرى في اتجاه مواز للقوة المؤثرة . ويكون العرض اللازم لمجرى القطع (الشكل ٩-٢ ، م) $b = 2s$ ، حيث s سمك المعدن المقطوع . اما الطول الضروري للمجرى المقطوع

$$l = \frac{P}{b[\tau]'_s} = \frac{P}{2s[\tau]'_s} \tag{9.9}$$

ولا ينصح باستخدام طول مجرى للقطع $[l]$ يزيد عن القيمة $30s$.

ولحامات التخريم (الشكل ٩ - ٢ ، ن) تستخدم لزيادة احكام العناصر المتماسة في الوصلة جنبا الى جنب مع اللحامات الاخرى التي تتحمل الاحمال . ويكون قطر التخريم في العادة مساويا $2s$.

ويعتبر اللحام بالصهر (الشكل ٩ - ٢ ، س) نوعا من انواع لحام المجرى المقطوع ويتم التوصل الى تلاحم العنصرين المراد لحامهما في الوصلة في هذه الحالة بواسطة صهر اللوح العلوي الذي يجب الا يزيد سمكه عن ١٢ مم. ولحامات الصهر تنفذ بواسطة اللحام الاوتوماتيكي تحت طبقة من مساعد الصهر .

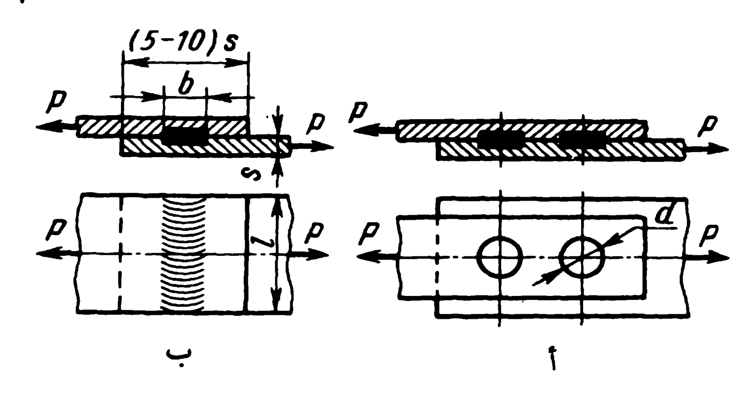
وبالنسبة للوصلات المنفذة بلحام التماس التي تستخدم في الغالب للاجزاء* من مواد على هيئة الواح رقيقة لها نسبة سمك اقل او تساوي ٣ ، تتخذ معادلات متانتها الشكل التالي :

بالنسبة للحام النقطي (الشكل ٩ - ٩ ، أ)

$$P = \frac{\pi d^2}{4} iz[\tau]'_s$$

حيث i - عدد نقط اللحام ؛

z - عدد مستويات القص (انظر حسابات البرشام) .



الشكل ٩ - ٩.

ولحامات النقطة في اغلب الاحوال تستخدم لا كوصلات عاملة ، تتلقى الاحمال الاساسية ، بل كوصلات رابطة، مثلا لتثبيت الاغلفة في الجسم أو الهيكل .

وبالنسبة للحام الشريطي أو اللحام الاسطواني (الشكل ٩ - ٩ ، ب) ، وباستخدام الرموز الموضحة على الرسومات :

$$P = bl[\tau]'_s$$

الحساب فى حالات الاجهادات المتغيرة. يتلخص الحساب فى تعيين حسابات اللحامات فى حالة الاجهادات المسموح بها المخفضة. ولهـذا تقرب قيم $[\tau]'_s$ و $[\sigma]'_t$ المحددة من الجدول ٩ - ٢ ، فى المعامل

$$\gamma = \frac{1}{0.6k_\sigma + 0.2 - r(0.6k_\sigma - 0.2)}$$

حيث k_σ - المعامل الحقيقى لتركيز الاجهادات والمختار من الجدول ٩-٣؛

$r = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}}$ - معامل عدم تماثل الدورة ؛

σ_{min} ، σ_{max} - اصغر واكبر اجهادات حسب القيمة المطلقة مأخوذتان كل باشارتها .

وحساب متانة الاجهادات فى منطقة اللحام عند الاجهادات المتغيرة يجب أن تجرى ايضا حسب الاجهادات المسموح بها للمعدن الاساسى مضروبة فى المعامل الخاص بها γ .

واحكام اللحامات اكبر كثيرا من احكام وصلات البرشام . ولـهـذا لا تجرى حسابات خاصة لتحديد الاحكام .

وفى التركيبات الملحومة الاسطوانية العاملة تحت الضغط يعتبر اللحام الطولى هو المقطع الحسابى فيها .

الجدول ٩ - ٣

المعاملات الحقيقية لتركيز الاجهادات k_σ لوصلات اللحام والعناصر الملحومة فى منطقة اللحام

العنصر موضع الحساب	صلب كربونى منخفض من نوع Ст. 3	صلب سبائك منخفض من نوع 15 XCHA
المعادن الاصلى فى مكان الانتقال الى لحام التناكب	١ر٥	١ر٩
المعدن الاصلى فى مكان الانتقال الى لحام طرفى . نسبة ارتفاع اللحام ١ : ١ر٥	٢ر٧	٣ر٣
المعدن الاصلى فى منطقة الانتقال الى لحام جانبى	٣ر٥	٤ر٥
لحامات تناكب مع نفاذ كامل لجذر اللحام	١ر٢	١ر٤
اللحامات الركنية والطرفية	٢ر٠	٢ر٥
اللحامات الجانبية	٣ر٥	٤ر٥

ملحوظة : فى حالة الوصل بلحام التماس يعتمد k_σ على نوع الصلب وسمك العناصر المراد لحمها . فمثلا بالنسبة للالواح من الصلب 10 بسمك ٣+٣مم ، مع استخدام اللحام النقطي فى الوصلات الرابطة يكون k_σ = ١ر٤ ، ولنفس هذه الالواح يكون k_σ للحام الاسطوانات k_σ = ١ر٢٥ .

الباب العاشر

وصلات اللوالب

معلومات عامة

اللوالب ، وتنقسم تبعا لنوع السطح الذى يوجد عليه اللولب، الى لوالب اسطوانية ولوالب مخروطية.

وسنة اللولب يمكن أن توجد على السطح الداخلى أم الخارجى من اسطوانة او مخروط . وفى الحالة الاولى يسمى لولب (قلاووظ) داخلى ، وفى الثانية يسمى لولب خارجى .

واللولب المتكون من تحرك شكل مستو ما على طول خط حلزونى فى اتجاه عقرب الساعة متبعدا عن الناظر يسمى لولب يمينى أما اذا تحرك الشكل عكس اتجاه عقرب الساعة ، فيسمى لولب يسارى * .

وتبعا للشكل المستوى ،الذى يحدد شكل سنة اللولب فى المستوى المار بمحور اللولب، تنقسم اللوالب الى : لولب مثلث ،وشبه منحرف، ومنشارى (لولب سن المنشار) (buttress) ومربع، ودائرى وبالنسبة لعدد أبواب اللولب ،تنقسم اللوالب الى لوالب بباب واحد واللوالب متعددة الابواب (ببابين وثلاثة وهكذا) .

وحسب الاغراض التى تستخدم فيها اللوالب ،تنقسم الاخيرة الى لوالب ربط ولوالب سحب ** وتستعمل لاجزاء الرباط ، لوالب بسن مثلث. وهى تمتاز بالمتانة العالية لسن اللولب ويمكنها أن ترمز استقرارا كبيرا للرباط اذا ماقورنت باللوالب الاخرى وذلك بسبب معامل احتكاكها الكبير .

والبارامترات الاساسية لسنة اللولب الاسطوانى (الشكل ١٠-١) القطر الخارجى (d) ، والداخلى (d_1) والمتوسط (d_2) وخطوة اللولب (S) وارتفاع شكل السنة الاصلى (H) ،والارتفاع العامل للشكل (h) وزاوية شكل السنة (α) ، وزاوية التقدم (ψ) .

والابعاد الاساسية للولب المترى يحددها العديد من المواصفات القياسية (الجدول ١٠ - ١) .

ويمكن استخدام اللولب الانجليزى فقط فى حالة استبدال أحزاء الربط فى الوصلات المنفذة حسب هذا النظام وكذلك فى حالات خاصة.

---

* تنص المواصفات القياسية على وضع علامة خاصة على الاجزاء ذات اللولب اليسارى .

** لوالب الجر (بسن شبه منحرف أو بسن مربع) المخصصة لنقل الحركة، سترد دراستها فى الباب العشرين " نقل الحركة بواسطة اللولب والصامولة" .

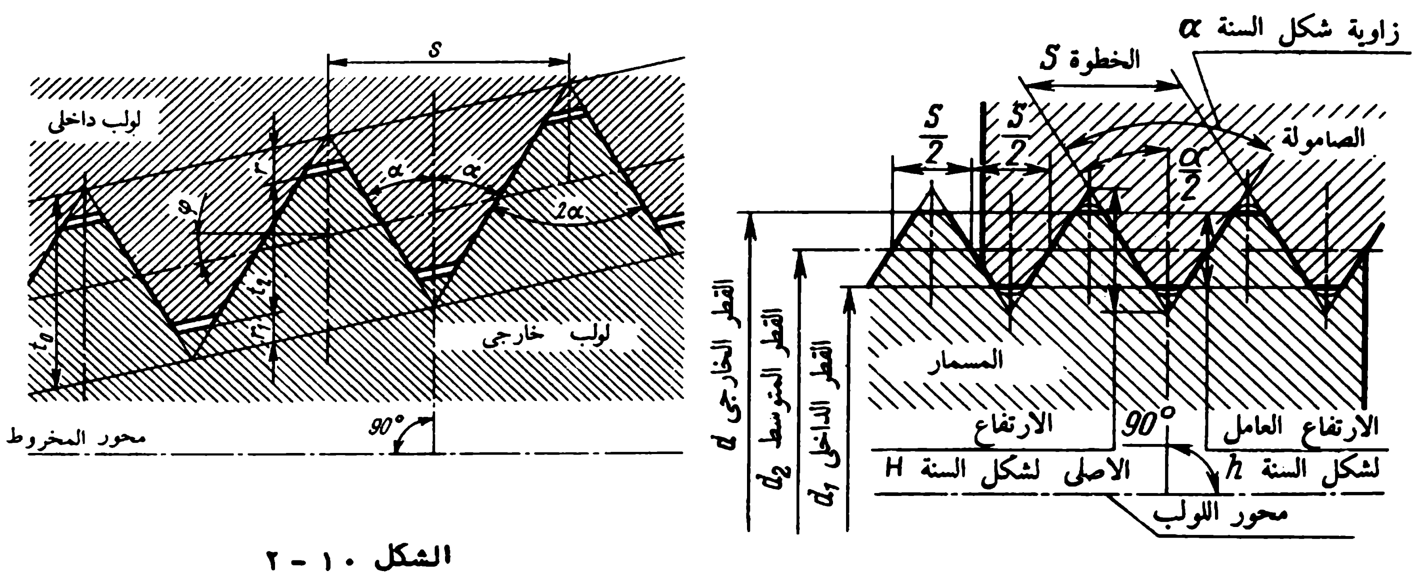
الجدول ١٠ - ١

<u>اللوالب المترية</u> (الابعاد الاساسية والرموز)

نوع اللولب	القطر المقدر للولب بالمم	الخطوة (S) بالمم
لولب مترى أساسى (دقيق)	٢٥ر٠ -٩ر٠	٠٧٥ر٠-٢٢٥ر٠
لولب مترى بخطوة كبيرة	١- ٦٨	٢٥ر٠-٦
لولب مترى بخطوة دقيقة	١-٦٠٠	٢ر٠-٦

مثال على الرمز للولب بقطر d = ٢٤ مم، بخطوة كبيرة M24 ، وبخطوة دقيقة $S = 1.5mm$ ، $M24 \times 1.5$.

وقطاع الشكل غير المكتمل الذى ينتج لاسباب تكنولوجية فى منطقة انتقال لولب الجزء المصنوع الى الجزء غير الملولب، يسمى <u>بنهاية اللولب</u> . وفى



الشكل ١٠ - ٢

الشكل ١٠ - ١

بعض الحالات ، بهدف الحصول على شكل مكتمل للولب على طول القطاع الملولب تستبدل نهاية اللولب بتقليل قطر القطاع الملاصق لنهاية اللولب بالخراطة لخروج قلم القلاووظ أو عدة قطعه. ونهاية اللولب ، وقطع الشطب، وغيرها من عناصر مخرج اللولب تنظم حسب المواصفات القياسية .

واللوالب المخروطية تنفذ بحيث يكون منصف زاوية شكل السنة متعامدا على محور المخروط (الشكل ١٠-٢) ولوالب هذا الشكل تسمح بربط اللوالب المخروطية بأخرى اسطوانية. وهى تستخدم بشكل واسع فى وصلات الانابيب حيث انها توفر الاحكام فى الوصلات بدون عناصر احكام اضافية.

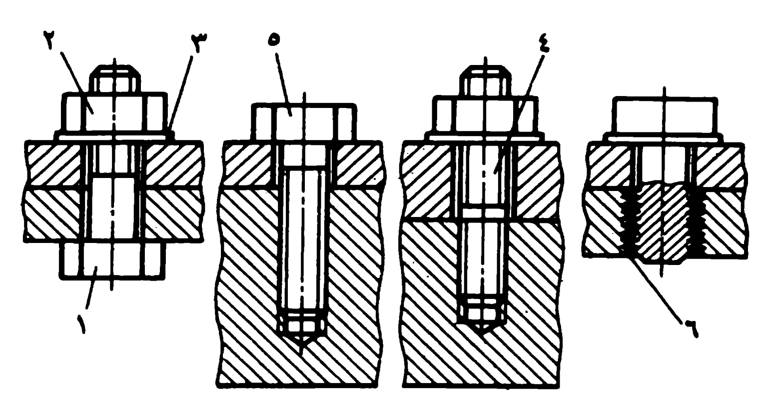
<u>المزايا والعيوب</u> . ان المزايا الاساسية لوصلات اللوالب والتى تساعد

على التوسع فى استخدامها فى بناء الماكينات هى : المقدرة العالية على الحمل، الكفاءة العالية، سهولة التجميع والفك، وتوفر التعدد الكبير فى اصناف الاجزاء الملولبة المناسبة لمختلف ظروف الاستخدام، والتكلفة المنخفضة نسبيا، والتى سببها التوحيد القياسى، واستخدام العمليات التكنولوجية عالية الانتاجية فى صنعها.

ويدخل فى عداد العيوب الرئيسية للوصلات الملولبة: وجود كمية كبيرة من مركزات الاجهادات على اسطح الاجزاء الملولبة، مما يجعلها نقاط ضعف فى حالات التحميل الذى يسبب اجهادات متغيرة، ومما يضطر الى البحث عن طرائق خاصة لرفع تحملها للكلال، وكذلك عدم تكنولوجية بعض التصاميم الخاصة للاجزاء الملولبة.

تصميم الاجزاء والوصلات

أجزاء الربط وموادها . تعتبر أهم اجزاء وصلات اللوالب (الشكل ١٠-٣) هى المسامير (١)، والمسامير الملولبة من الطرفين (الجويط) (stud) (٤)، واللوالب (٥) والصامولات (٢).



الشكل ١٠ - ٣

والاشكال التصميمية والنسب الهندسية لرؤوس المسامير (واللوالب) والصامولات متنوعة. ويتحدد اختيار التصميم من الغرض من الوصلة.

ويمكن للرؤوس أن تكون مسدسة أو مربعة أو غاطسة أو نصف مستديرة.. الخ. كما انها تختلف ايضا بوجود القطاع الذى يقيد دوران المسمار عند ربطه (مثلا المسامير ذات الرؤوس الغاطسة واللسان) وبالنسبة لارتفاعها (مثلا المسامير ذات الرؤوس العالية نصف المستديرة وذات اللسان)، المسامير ذات الرؤوس المسدسة والمصفرة مع وجود بليل تحت الرأس وحسب وسيلة المسك - مثل المسك بواسطة مفتاح من الخارج، أو الداخل (مع وجود مسدس داخلى)، او بالنسبة لطرف الرأس (الرؤوس ذات المجارى الخاصة بالمفك)، أو بالاشكال الاخرى.

كما وتختلف جذوع المسامير : فهى اما اعتيادية (الشكل ١٠-٣، الجزء ١) أو مشطبة finished لتركيبها مع الرباط المحكم فى ثقب مشطب مفتوح

فى الاجزاء المراد توصيلها (انظر الشكل ١٠ - ١٣ ، و) ، أو ذات الدليل تحت الرأس، أو بجذوع خاصة، مثل التى تضمن مطيلية عالية فى المسمار (انظر الشكل ١٠ - ٢٢) .

وتبعا للدقة فى الصنع تنقسم المسامير الى مسامير اعتيادية ومسامير ذات الدقة العالية.

والمسامير ذات الطرفين الملولبين (الجويط) تستخدم عندما لا يوجد فى تصميم الوصلة مكان لرأس المسمار أو عندما يستحيل ثقب فتحة نافذة للمسمار . وفى حالة تأثير الاحمال الديناميكية ، يكون المسمار القياسى الملولب من الطرفين اكثر متانة من المسمار العادى القياسى بنفس الابعاد .

وتبعا للغرض من الوصلة وظروف التجميع تختار الصامولات التى تختلف فى شكلها (صامولة عادية، أو ذات ارتفاع منخفض او عال) ، وفى مقدرتها على ضمان الزنق والاحكام وغيرهما من المتطلبات.

وفى الوصلات الملولبة، تبعا للتصميم ، يمكن للصامولات أن تتلقى الحمل الخارجى الشاد للمسمار كحمل ضاغط (فى الوصلات من نوع المسمار والصامولة ، الشكل ١٠ - ٦ ، أ) أو كحمل شد . وفى الحالة الاخيرة تسمى هذه الصامولات بصامولات الشد (الشكل ١٠ - ٦ ، جـ) ولا تشملها المواصفات القياسية وهى تنتمى للتركيبات الخاصة.

والوردات (٣) washers (الشكل ١٠ - ٣) الموضوعة تحت رؤوس المسامير أو صامولاتها ، وظيفتها حماية القطاعات المشطبة من الجزئين المراد توصيلهما ، من الاصابات (بالتغضن أو التخدش) .

والتركيبات الاساسية لاجزاء التثبيت تشملها المواصفات القياسية . وترد فى دلائل الاعلام المعطيات الخاصة باختيار هذه الاجزاء . وتستخدم احيانا فى بناء الماكينات تركيبات غير قياسية فى الاجزاء الملولبة ، تكون اشكالها خاصة (مثلا المسامير ذات الرؤوس غير المتماثلة على شكل حرف T أو ذات الرؤوس البينية . . . الخ) ، أو غير تكنولوجية ، ولذلك لا يوصى باستخدامها (على الرغم من أنها تضمن مقدرة حمل عالية للوصلة) ، وتدخل فى عداد الاخيرة صامولات الشد .

الشكل ١٠ - ٤

وعموما فان وصلات اللوالب يمكن أن تتكون بدون الاجزاء التى تعتبر خاصة بالربط (انظر الشكل ١٠ - ٤ مثلا) .

وتستخدم قطع الايلاج الملولبة فى الحالات التى تتعرض فيها اللوالب أو المسامير الملولبة من الطرفين (الجويط) لتكرار الفك والربط فى الجزء المصنوع من سبائك الالومينيوم أو الماغنسيوم ، أو اللدائن وما شابهها من مواد من حيث الصلابة ، وذلك لرفع مقاومة التآكل بالاحتكاك للولب الثقوب .

وتصنع قطع الايلاج هذه على هيئة جلب تلولب فى الجزء وتثبت بمثبتات وكذلك على هيئة يايات حلزونية من اسلاك مقطعها على شكل معين تلولب فى الثقوب بتداخل (الشكل ١٠ - ٣، الجزء ٦).

وتصنع اجزاء الربط من الصلب ذى نسبة الكربون المنخفضة والمتوسطة من النوع العادى (صلب Ст. 3, Ст. 4, Ст. 5)، ومن الصلب الكربونى الجيد (A12, 35, 45) ومن صلب السبائك (38ХА وغيره)، ومن الصلب المقاوم للصدأ (1X17H2 وغيره) ومن المعادن غير الحديدية وسبائكها.

وبغرض رفع المواصفات الميكانيكية للمسامير المصنوعة من الصلب (ما عدا أنواع الصلب من النوعية العادية)، تعرض هذه المسامير لمعاملة حرارية. كما تستخدم بتوسع ايضا الدلفنة بالاسطوانات لسنة اللولب ومنطقة الانتقال من الجذع الى رأس المسمار. ولرفع خواص مقاومة الصدأ للاجزاء الملولبة تجرى تكسية الاخيرة بطلاء معدنى وطبقات رقيقة من الاكاسيد (مثل الطلاء بالزنك والكادميوم وغيرهما).

وفى التركيبات الخاصة مع وجود قيود شديدة على الوزن والاحجام وغيرهما من البارامترات الاخرى فى التشغيل، تستخدم سبائك التيتانيوم والبريليوم كمواد لصنع اجزاء الربط.

والمتانة الاستاتيكية للمسامير المصنوعة من التيتانيوم تقترب من متانة مثيلاتها المصنوعة من انواع صلب السبائك العالية، وهى اخف بنسبة ٤٥٪ من مسامير الصلب، وتتميز بخواص عالية لمقاومة الصدأ. وفى حالات الاحمال المتغيرة تلاحظ حساسية عالية لمقاومة لتركيز الاجهادات ولجودة الاسطح. ويمكن استخدامها لفترات زمنية قصيرة فى درجات حرارة لا تزيد عن ٧٠٠° مئوية، ولمدة طويلة فى درجات حرارة لا تزيد عن ٤٠٠° مئوية.

والمسامير المصنوعة من سبائك البريليوم اخف بمقدار ٤ مرات تقريبا من المسامير المصنوعة من الصلب، وهى حساسة لتركيز الاجهادات، الا انه باستخدام تكنولوجيا معينة فى صنعها وزيادة متانتها، يمكن لحد اطاقتها ان يزيد عن نظيره لمسامير الصلب ذات المواصفات المشابهة باكثر من الضعف.

وتتمتع أجزاء الربط المصنوعة من النايلون بخواص عالية فى مقاومة الصدأ وتستخدم فى درجات حرارة لا تزيد عن ١٥٠° مئوية.

أجهزة الاحكام (الزنق) يكمن الغرض من هذه الاجهزة فى تلافى الفك الذاتى للاجزاء الملولبة. ولا تحتاج الوصلات المعرضة للاحمال الاستاتيكية لوجود مثل هذه الاجهزة، اذ ان كل لوالب الربط تحقق متطلبات الكبح الذاتى، حيث تكون زاوية تقدم اللولب فيها اقل من زاوية الاحتكاك. وفى حالة التحميل الديناميكى والاهتزازات وغيرها، يمكن لوصلة اللولب بعد فترة تشغيل معينة أن تنحل.

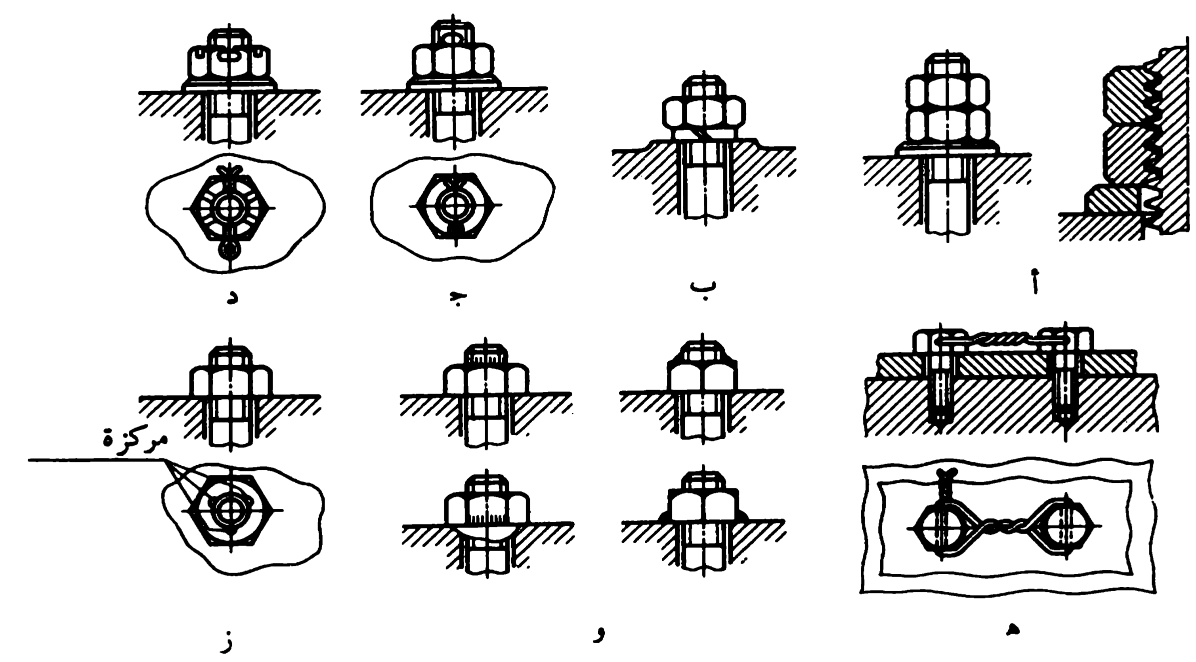
وبالاضافة الى ذلك، فمع تأثير الحمل المحورى المتغير، تصبح التشوهات المستعرضة فى كل من المسمار والصامولة متغيرة، مما يسبب ازاحات قطرية

29 Зак. 3819

بين أسنان اللولب المتلامسة ويزيد من عدم استقرار معاملات الاحتكـــاك . وتظهر هذه الازاحات عند اى تغير فى مقدار واتجاه الحمل المسلط، وبناء عليه تتغير قوى الاحتكاك فى مقدارها واتجاهها ، تلك القوى المؤثرة على اسطح التلامس. ولقد اظهرت الابحاث التجريبية فى هذه الظاهرة، أن انخفاض قيمة معاملات الاحتكاك تصل عند ذلك الى ٧٠٪ - ٨٥٪ فـــى اللولب، والى ٧٥٪ - ٨٠٪ عند طرف الصامولة . والنتيجة هى احتمـــال حدوث الفك الذاتى وضرورة استخدام وسائل احكام (زنق) خاصة.

وتقوم التصاميم العديدة لاقفال الصامولات المستخدمة والمقترحة فى بناء الماكينات على المبادىء الاساسية التالية:

١ - زيادة قوى الاحتكاك على اسطح التماس بين اجزاء الوصلة - فـــى اللولب ، وفى اسطح الارتكاز لرأس المسمار والصامولة (انظر الشكل ١٠-٥ ، أ - ب) .



الشكل ١٠ - ٥

٢ - استخدام محددات خاصة رخيصة وسهلة الاستبدال ، تعيق الازاحات النسبية بين اجزاء الوصلة (الشكل ١٠-٥ ، حـ ، د ، هـ) .

٣ - الاحكام التام (الشكل ١٠-٥ ، و، ز) . ويمكن فك الوصلة فقط بعد تحطيم العناصر المكونة للقفل أو تشويهها تشوها لدنا .

وعند ربط صامولة الزنق ، يعاد توزيع الخلوصات بين اسنان اللولب فى المسمار وكل من الصامولتين ، بالشكل الموضح فى الرسم (الشكل ١٠-٥ ، أ) والنتيجة أن المسمار فى هذه المنطقة يحمل تحميلا اضافيا بقوة شد محورية تضمن تأثير الزنق لقوى الاحتكاك فى اللولب حتى بعد ازالة الحمل العامل . وهذه الوسيلة للزنق تستخدم فى الوقت الحالى بصورة أقل بسبب عـــدم كفاءتها وخصوصا فى حالة الاهتزاز، وبسبب ضرورة زيادة طول لولـــب المسمار، وزيادة تأكل الصامولات (بمقدار الضعف) .

ويقوم استخدام الوردات الزنبركية والصامولات القارنة وغيرها ، على نفـــس مبدأ زيادة قوى الاحتكاك فى اسطح التلامس.

والاحكام بمساعدة المحددات العائقة للفك الذاتى يستخدم بتوسع بفضل كفاءته ورخصه وسهولة تجميع وفك الوصلات . وتستخدم كمحددات، التيلات المشقوقة (الشكل ١٠ - ٥، جـ ، د) واسلاك الربط (الشكل ١٠ - ٥ ، هـ) وغيرها من الاجزاء .

ولحام الصامولات ورؤوس المسامير (الشكل ١٠ - ٥ ، و) ، والمركزة (الشكل ١٠ - ٥، ز) وماشابههما من طرائق الاحكام التام تعتبر طرائق آمنة، الا انها غير قابلة للاستخدام فى حالة ضرورة الفك والتركيب العديدين للوصلة.

تقسيم الوصلات. تبعا لطابع التحميل وطريقة تجميع الاجزاء يمكن تقسيم الوصلات الطولبة الى وصلات تجمع بدون شد ابتدائى تمهيدى ، ووصلات تجمع بشد ابتدائى .

والوصلات من النوع الاول تستخدم فى بناء الماكينات بصورة نادرة نوعا ما . وكمثال على هذه الوصلات ، الوصلة المبينة فى الشكل ١٠ -١٧ ، لتثبيت الخطاف فى محور تعليقه المستعرض (انظر الشكل ١٠ - ٤).

وفى غالبية الحالات تعتبر وصلات اللوالب من الوصلات سابقة التحميل أو الشد اى ان اللوالب والاجزاء المراد توصيلها تشد الى بعضها بواسطة قوى ذات مقدار معين قبل تسليط حمل التشغيل ، وذلك كى لا يحدث بعد تسليط حمل التشغيل انفصال بين اسطح التوصيل ، ولكى لا يختل احكام الوصلة أو العمل المشترك بين اجزاء الوصلة .

والوصلة من هذا النوع قادرة على تلقى الاحمال الاستاتيكية والديناميكية ايضا ، ولهذا السبب تثبت كراسى المحاور ووصلات المواسير واغطية اسطوانات المحركات ورؤوس اذرع التوصيل وما الى ذلك مثلا ، تثبت بالشد الابتدائى .

وتقسم الوصلات تبعا للغرض منها الى وصلات متينة ووصلات متينة محكمة. ومما سبق ذكره، يفهم ان الوصلات المتينة تبعا لطابع التحميل يمكن ان تتم اما بواسطة الشد الابتدائى او بدونه. ولا يمكن شد الوصلات المتينة المحكمة الا بعد اجراء الشد الابتدائى بالمقدار المطلوب.

وتبعا لعدد مسامير اللولب * ، التى تشارك فى تلقى الحمل تقسم الوصلات الى وصلات ذات مسمار منفرد والى وصلات متعددة المسامير . ويمكن ان تكون الاخيرة ذات توزيع للحمل بين المسامير سواء بالتساوى او بدونه .

الاحمال

حالات الحساب الاساسية. ان الاستخدامات التطبيقية لوصلات اللوالب

---

* من الان فصاعدا تقصد من المصطلح "مسمار اللولب" الاجزاء المناظرة له مثل اللوالب ، ومسمار الجويط . . الخ .

متنوعة للغاية ، ولهذا السبب فان عدد الحالات الحسابية ضخم ايضا ، فلكل تركيبة مميزاتها وخصائصها التى يجب اخذها فى الاعتبار عند الحساب . والجدول ١٠ - ٢ يبين اهم الحالات الحسابية لوصلات اللوالب.

وعن طريق تحليل عمل الوصلات يمكن تحديد مقدار الحمل الحسابى الذى تحسب لكل حالة على أساسه الابعاد التى تضمن متانة اجزاء الوصلة.

واثناء اعداد تصميم الوصلة واجزائها، يجب اختيار تلك الحلول التى تستبعد امكانية ظهور اجهادات اضافية لم تراعيها الحسابات اثناء التجميع او التشغيل. كما يجب تعيين المتطلبات المتعلقة بتنسيق محاور اجزاء الربط وأسطح الارتكاز (وذلك لتحديد قيمة الانحراف واجهادات الانحناء التى تظهر نتيجة لذلك) ، ونوعية اسطح التماس (كفاءة التشغيل ، والصلادة وغيرهما) ، وسلامة وتتابع الشد وما الى ذلك) .

وتعتبر الحالة (أ) الواردة فى الجدول السابق ، ابسط الحالات. وكقاعدة عامة، تختار كقيمة حسابية، قيمة حمل التشغيل P ، وفى بعض الاحيان تؤخذ فى الاعتبار ديناميكية تسليط الحمل. ويمكن تحويل غالبية حالات الحساب الاخرى الى هذه الحالة (أ) بتحديد الحمل الحسابى المناسب .

وتختلف الحالة (ب) (أنظر الجدول ١٠ - ٢) عن الحالة الاولى بتسليط عزم لى M_t مثلا لاحكام الوصلة، مضافا الى قوة الشد العاملة المحورية P . ويصبح جذع المسمار محملا بالاضافة للحمل المحورى، بعزم تتحدد قيمته بالعلاقة المعروفة من منهج " نظرية الماكينات " .

$$M_t = M_{th} = P \frac{d_2}{2} \tan(\psi + \rho) \text{kgf} \cdot \text{cm} \tag{10.1}$$

حيث M_{th} - العزم المؤثر على سنة اللولب ؛

ρ - زاوية الاحتكاك المكافئة .

وتتميز الحالة الحسابية (حـ) (انظر جدول ١٠ - ٢) بتحميل المسامير فى الوصلة المتعددة المسامير، والموضوعة فى ثقوبها بدون خلوص، بواسطة قوى مستعرضة تؤدى الى ظهور اجهاد قص فى المقاطع المعنية.

وعند وضع المسامير فى ثقوب مع وجود خلوص (الحالة هـ فى الجدول ١٠ - ٢) يتعقد شكل التحميل اذ يلزم اجراء شد ابتدائى لضمان العمل المشترك بين اجزاء الوصلة.

وفى الوصلات التى تجمع بواسطة شد ابتدائى (الجدول ١٠ - ٢ الحالة د) تعتمد قوة الاخير، مثلها مثل الحمل الحسابى ، لا على قيمة حمل التشغيل المحورى فحسب، بل وعلى الغرض من الوصلة ايضا ، وكذلك على مطيلية عناصرها .

الجدول ١٠ - ٢

حالات الحساب الاساسية لوصلات اللوالب

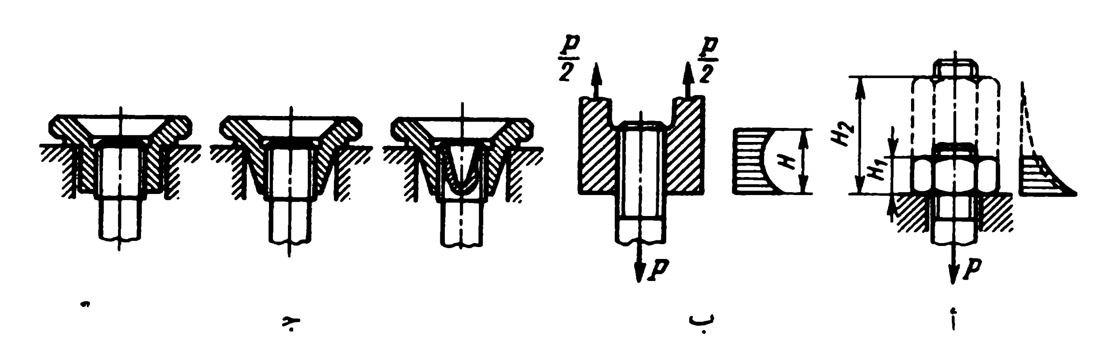
وصلات تجمع بدون شد ابتدائى			وصلات تجمع بشد ابتدائى	
اجزاء محملة بقوى محورية	اجزاء محملة بقوة محورية ، مع وجود امكانية للشد التالى	اجزاء محملة بقوى مستعرضة	اجزاء محملة بقوة محورية ، مع وجود امكانية للشد التالى	اجزاء محملة بقوى مستعرضة
أ	ب	ج	د	خلوص هـ

ويبين الجدول (١٠ - ٢) اشكال التحميل فى الوصلات المتعددة المسامير (جـ - هـ)، ويمكن ان توجد ظروف تحميل مماثلة ايضا فى الوصلات ذات المسمار الواحد .

توزيع الحمل المحورى على عدد اسنان اللولب العاملة. فى وصلات اللوالب تتوزع قوة الشد المحورية بصورة غير منتظمة على الاسنان العاملة فى اللولب . ولقد بحث جوكوفسكى (١٨٤٦ - ١٩٢١) لاول مرة فى قانون التوزيع واكتشفه . وعند حل هذه المسألة اعتبر اللولب (انطلاقا من صفر زاوية التقدم) على شكل مجموعة حلقات بارزة ذات مقطع مستطيل ، وهذه الحلقات موصلة توصيلا جاسئا بين جذع المسمار وجسم الصامولة، وهى معرضة لحمل قص . وما زال الحل المقدم من قبل جوكوفسكى يحتفظ الى الان باهميته . وكانت الابحاث التالية تتعلق فى الغالب بزيادة دقة الرسم الحسابى ، مما سمح بالتوصل الى قانون اكثر دقة لتوزيع الحمل على الاسنان العاملة فى اللولب. ويجب ان نخص بالذكر بحث اى بيرجير الذى قام لاول مرة بحل المسألة بالنسبة لسن اللولب غير المتقطع مع اخذ مطيليتها فى الاعتبار.

ويفترض الحل انه على طول خط ربط المسمار والصامولة يكون التماس مستمرا بين الاسنان مما تسببه فى التركيبات الحقيقية عملية الشد الابتدائى فى الوصلات .

ولقد اظهرت هذه الابحاث طبيعة ودرجة عدم انتظام توزيع الحمل على اسنان اللولب العاملة. وسبب طابع التوزيع هذا ان الحمل المحورى يسبب فى جذع المسمار وجسم الصامولة تشوهات مختلفة فى المقدار، وفى الوصلات من نوع المسمار - الصامولة تكون هذه التشوهات مختلفة فى الاتجاه ايضا . ويسبب هذا بالاضافة الى التشوه فى اسنان التماس فى اللولب، اختلاف كثافة توزيع القوى المحورية على ارتفاع الصامولة وكذلك تركز الحمل على الاسنان الاولى (محسوبة من طرف تماس الصامولة مع سطح الجزء المربوط) .



الشكل ١٠ - ٦

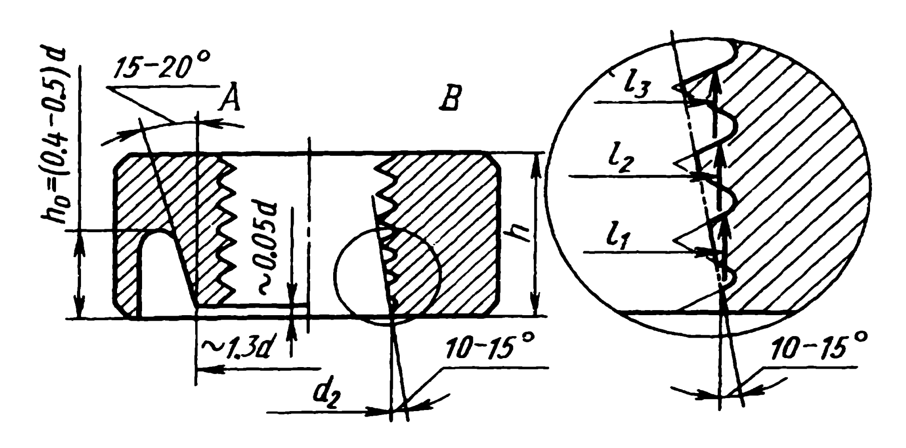
ويوضح الشكل ١٠ - ٦ ، أ الصورة المبدئية لتوزيع الحمل بين اسنان اللولب فى الوصلة من نوع المسمار - الصامولة. ولا تؤثر عمليا زيادة ارتفاع الصامولة على طابع التوزيع.

ويؤثر هذا القانون بشكل ملموس فى الوصلات ذات صامولات الشد ، وذلك بفضل تساوى تشوه الصامولة والمسمار فى الاشارة (الشكل ١٠ - ٦ ، ب) .

والتطوير اللاحق لتصاميم صامولات الشد ، حيث يتم التوصل للتقليل من تركيز الحمل ايضا بسبب تنظيم الجساءة فى قطاعات معينة فى المسمار والصامولة (الشكل ١٠ - ٦ ، جـ) .

ولم تحصل صامولات الشد على استخدام واسع بسبب عدم تكنولوجية تصاميمها . ومن الافضل من الناحية التكنولوجية هو تصميم الصامولة ذات التجويف الطرفى مع ازالة السنة الاولى الاكثر تحميلا (الشكل ١٠-٧، الحل أ)، ويعتبر هذا الحل نوعا آخر من انواع صامولات الشد .

وفى الصامولات التى تكون فيها قمم الاسنان مخروطية (الشكل ١٠ - ٧ ، الحل ب) مع وجود تجويفات باقية من مجرى السنة ذات اعماق مختلفة ، كما فى غيرها من الصامولات، يتم التوصل الى توزيع اكثر انتظاما للحمل بين الاسنان بواسطة التحكم فى الجساءة الكلية بين الاسنان المتلامسة، اى عن طريق تقليل قيمتها فى منطقة تركيز الحمل المنتظر.



الشكل ١٠ - ٧

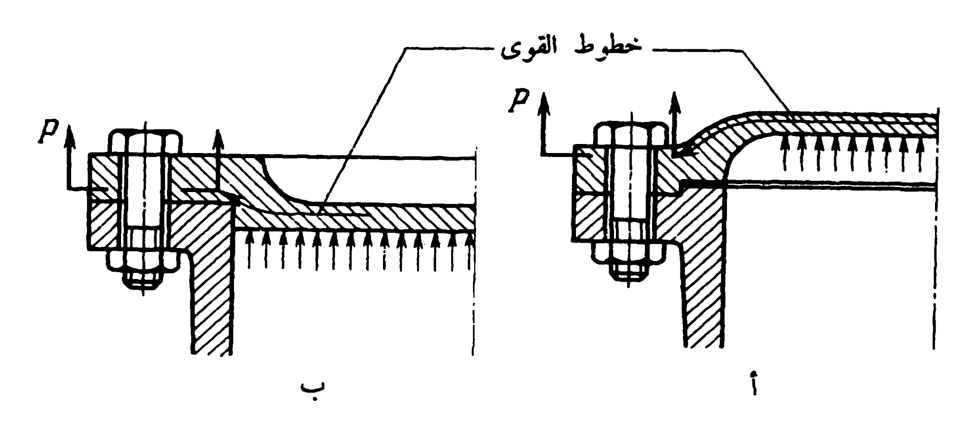
<u>الشد الابتدائى</u> . يجرى تجميع غالبية وصلات اللوالب بواسطة الشد الابتدائى ، الذى تحدد لزومه متطلبات هذه الوصلات. وهى فى بعض الاحيان ضمان الاحكام (توصيل غطاء واسطوانة محرك الاحتراق الداخلى) ، وفى حالات اخرى - عدم جواز الانفصال بين سطحى التلاحم او حدوث ازاحة نسبية بين الاجزاء حيث يمكن ان تؤدى هذه الازاحة الى الاخلال بعمل الاجزاء فى الوصلة. وتعتبر هذه الشروط نمطية مثلا بالنسبة لمسامير اذرع التوصيل او مسامير الاساس.

وبالنسبة للحالة الحسابية د (انظر الجدول ١٠ - ٢) ، يجب ان يكون الشد الابتدائى V بمقدار لا يمكن عنده حدوث انفصال فى سطحى التلاحم او الاخلال بالاحكام، وذلك بعد تسليط حمل التشغيل المحورى. وهذا يعنى انه بعد تسليط حمل التشغيل P ، الذى يمكن ان يقلل من تأثير الشد الابتدائى ، يجب ان تكون اجزاء الوصلة مضغوطة الى بعضها البعض بقوة V' تسمى بالشد المتبقى فى التلاحم.

ومقدار الانخفاض فى قوة الشد ($V - V'$) يحددها كل من حمل التشغيل وتصميم الوصلة، أى خواص مرونة اجزاء الوصلة. وعند تقييم هذه

الخواص ، من المهم قبل كل شيء معرفة شكل انتقال حمل التشغيل الى المسمار .

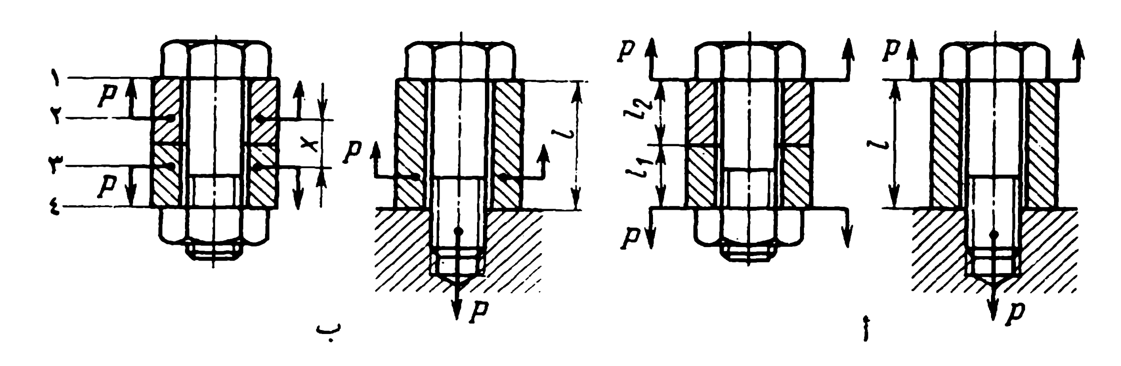
والشكل ١٠ - ٨ يوضح حلين لتصميم اغطية الاسطوانات. وبالتقريب المعين يمكن ملاحظة اتجاه خطوط القوى ، وعلى هذا الاساس يمكن



الشكل ١٠ - ٨

افتراض مواضع تسليط حمل التشغيل ، وكما هو مبين فى الشكل ١٠ - ٨ ، فان توزيع النقط المحتملة لتسليط حمل التشغيل يعتمد على تصميم الوصلة .

ويوضح الشكل ١٠ - ٩ الاشكال المبدئية لوصلات اللوالب : أ - حالة خاصة عندما يمكن اعتبار حمل التشغيل مسلطا على الاجزاء الملولبة مباشرة (ويمكن وجود حالة خاصة اخرى يكون حمل التشغيل فيها مسلطا على سطح التلاحم) ، ب - الحالة العامة .



الشكل ١٠ - ٩

ولنبحث بالتفصيل عمل الوصلة المنفذة حسب الرسم الموضح فى شكل ١٠ - ٩ ، أ .

عندما يكون الضغط الداخلى الفائض يساوى p كجم/سم^٢ ، يكون الحمل على الغطاء (الشكل ١٠ - ١٠) وعلى المسامير يساوى (D سم) :

$$Q = p\frac{\pi D^2}{4}\ kgf .$$

ولنفرض ان المسامير كلها وعددها z محملة بالتساوى . عندئذ يكون

حمل التشغيل المسلط على المسمار الواحد حسب الرسم الموضح :

$$P = \frac{Q}{z} = \frac{1}{z} p \frac{\pi D^2}{4} kgf$$

ومع اهمال تشوه رأس المسمار والقطاع الطرفي للولب ومع اعتبار ان طول المسمار يساوي مجموع سمكي الشفتين ($l = l_1 + l_2$) ، فان التشوه المرن في المسمار الذي تحدثه قوة الشد V (الشكل ١٠ - ١٠ ، ب) يساوي

$$\lambda_1 = \frac{Vl}{E_b \cdot F_b} = \frac{V}{c_b}$$

اما التشوه المرن للوصلة فيساوي

$$\lambda_2 = \frac{Vl}{E_p F_p} = \frac{V}{c_p}$$

حيث c_b ، c_p - معاملا الجساءة للمسمار والاجزاء الموصلة.

وبعد تسليط حمل التشغيل P (الشكل ١٠ - ١٠ ، جـ) على الوصلة يزيد طول المسمار زيادة اضافية بمقدار $\Delta\lambda_1$ ، اما اجزاء الوصلة " فتتمدد " بمقدار $\Delta\lambda_2$ ، ومن شرط الاشتراك في التشوهات نجد ان $\Delta\lambda_1$ تساوي $\Delta\lambda_2$. وتقل القوة المؤثرة على الوصلة اثناء ذلك الى مقدار V' .

ومن شرط اتزان القوى ، فان القوة المؤثرة على المسمار تساوي محصلة حمل التشغيل P والشد المتبقي V' :

الشكل ١٠ - ١٠

$$P_0 = P + V' \tag{10.2}$$

واذا رمزنا للفرق بين V و V' بالرمز ΔP ، فان :

$$\Delta P = V - V' \tag{10.3}$$

واذا أخذنا في الاعتبار ان

$$\Delta\lambda_1 = \frac{P_0 - V}{c_b} = \frac{P - \Delta P}{c_b}$$

$$\Delta\lambda_2 = \frac{V - V'}{c_p} = \frac{\Delta P}{c_p}$$

ومن شرط ان $\Delta\lambda_1 = \Delta\lambda_2$ ، نجد ان

$$\Delta P = P \frac{c_p}{c_b + c_p} \tag{10.4}$$

ومن المعادلتين (10.3) و (10.4) نجد ان قوة الشد الابتدائى هى

$$V = V' + P \frac{c_p}{c_b + c_p} \qquad (10.5)$$

وتتحدد قوة الشد المتبقية V' تبعا لمقدار حمل التشغيل P حسب الصيغة $V' = \gamma P$ ، حيث γ - معامل تجريبى يؤخذ فى الحدود بين ٢ر٠ و ٨ر١ تبعا للغرض من الوصلة.

وعلى ذلك فان

$$V = P\left(\gamma + \frac{c_p}{c_b + c_p} \right) \qquad (10.6)$$

وكما يتضح من الصيغتين (10.5) و (10.6) مع ثبات قيمتى P و V' ، وتبعا لذلك P_0 ، تعتمد قيمة V على بارامترات جساءة اجزاء الوصلة.

وعند تحميل الوصلة حسب الرسم (ب) (انظر الشكل ١٠ - ٩) تحدث تحت تأثير حمل التشغيل P زيادة فى طول المسمار وانضغاط اضافى فى الاجزاء الموصلة فى قطاعيها 2 - 1 و 4 - 3 ،كما يقل التشوه الناتج من انضغاط الاجزاء فقط فى القطاع 3 - 2 .

وعلى ذلك ففى الحالة العامة (الشكل ١٠ - ٩ ،ب) يجب التمييز بين اجزاء مجموعة المسمار، التى تبقى فيها اشارة التشوه اثناء الشد الابتدائى وما يتبعه من تسليط حمل التشغيل دون تغيير (المسمار والقطاعان 2 - 1 و 4 - 3 من الاجزاء الموصلة) وبين اجزاء مجموعة الجسم التى ينشأ تشوهها بعد تسليط حمل التشغيل فى اتجاه مخالف لاتجاه التشوه الحادث من الشد الابتدائى (القطاع 3 - 2 من الاجزاء الموصلة).

وفى الحالة الخاصة التى استعرضناها اعلاه بالتفصيل، يمكن ان يكون تحميل المسامير على اساس الرسم (أ) (الشكل ١٠ - ٩)، وتدخل فى عداد مجموعة المسمار الاجزاء الملولبة ، وفى مجموعة الجسم ، الاجزاء الموصلة.

وحيث ان الاجزاء الداخلة فى مجموعة المسمار (الشكل ١٠ - ٩ ،ب)تكون مجموعة من العناصر المرنة الموصلة على التوالى ، فان معامل الجساءة للمجموعة c_{sb} يتحدد من المعادلة (انظر الجدول رقم ٢-١)

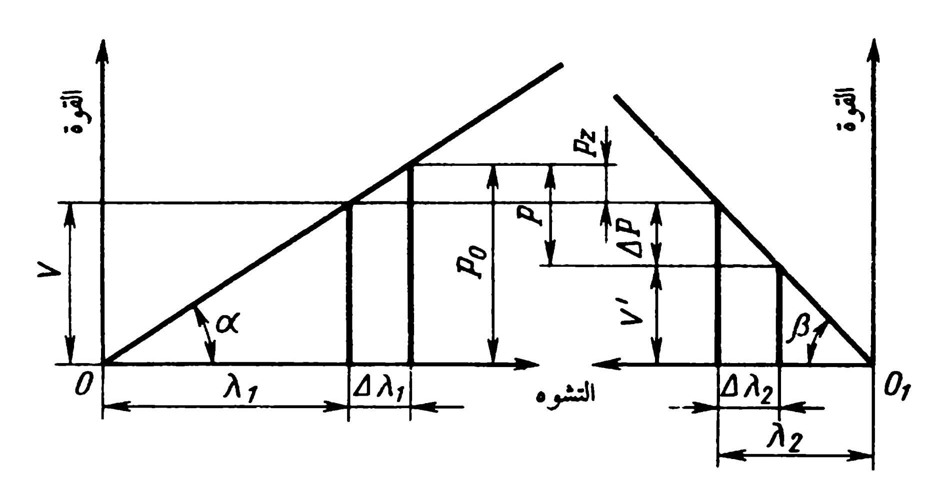
$$\frac{1}{c_{sb}} = \frac{1}{c_b} + \frac{1}{c_{p\,1-2}} + \frac{1}{c_{p\,3-4}}$$

وبناء على ذلك فان $c_{sb} < c_b$ علما بان معامل جساءة الاجزاء فى مجموعة الجسم $c_{sp} = c_{p\,2-3} > c_p = c_{p\,1-4}$.

ومن الواضح انه مع الظروف المقارنة تكون القيمة ΔP ،وهذا يعنى ايضا الجهد المطلوب للشد الابتدائى V فى الرسمين موضع الدراسة فى الوصلات (الشكل ١٠ - ٩ ،أ ، ب) ، يكونان مختلفين.

والعلاقة بين القوى والتشوهات فى اجزاء الوصلة المنفذة حسب الرسم الموضح فى شكل (١٠ - ٩ ،أ) ، يوضحها الرسم البيانى (الشكل ١٠-١١).

فاذا ما رصدت على الاحداثى الرأسى القوى، وعلى الاحداثى الافقـــى ـ التشوهات ، يكون ظل زاوية ميل الخط المستقيم على المحور الافقـــى ، يوصف الجساءة فى حدود التشوهات المرونة . والقسم اليسارى من الرســم البيانى يمثل العلاقة بين تشوهات المسمار وبين القوى المؤثرة عليه، امـــا

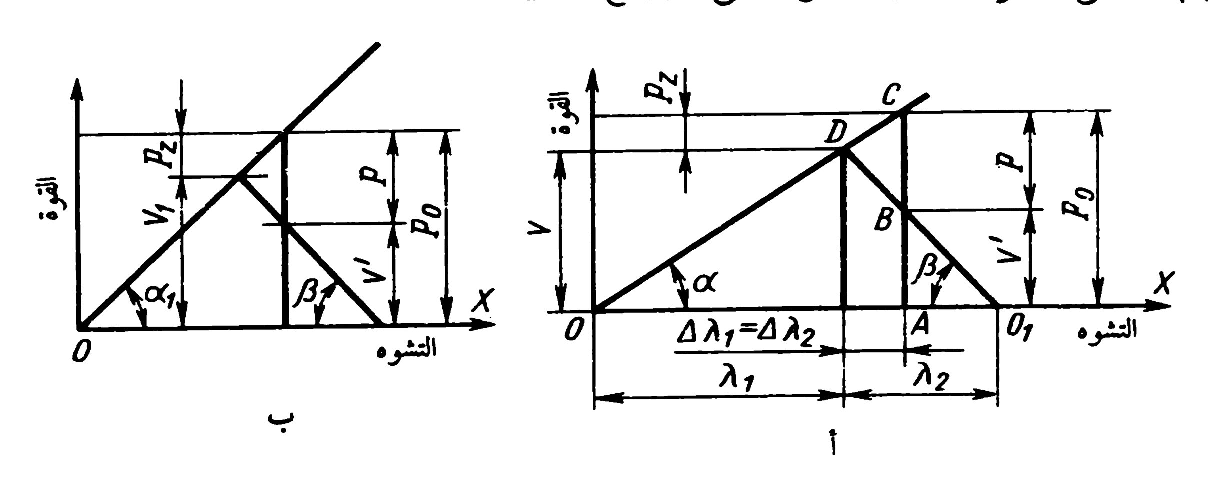


الشكل ١٠ - ١١

القسم اليمنى من الرسم البيانى فيمثل هذه العلاقة بالنسبة للاجزاء الموصلة ($\tan\alpha = c_b$, $\tan\beta = c_p$) .

وتؤدى قوة الشد الابتدائى V الى حدوث تشويه شد فى المســـــمار مقداره λ_1 ، وتشويه ضغط فى الوصلة مقدار λ_2 .

وبعد تسليط حمل التشغيل P على المسمار، يزيد طوله بمقدار $\Delta\lambda_1$ ، وينتج عن ذلك ان يقل تشوه الضغط فى الوصلة بمقدار $\Delta\lambda_2 = \Delta\lambda_1$ ، اما الجهد فى الوصلة فينخفض حتى يبلغ القيمة V' .



الشكل ١٠ - ١٢

وبالجمع بين الرسمين البيانيين (الشكل ١٠ - ١٢ ، أ) ، يمكن حل المسألة ايضا حسب الوضع التالى : فى الوصلة ذات خواص المرونة c_b ، c_p ، يحمل المسمار بجهد تشغيل مقداره P ، والمطلوب تحديد مقدار الشد الابتدائى V ، الذى يضمن توفير قوة شد متبقية V' فى حالـــة التشغيل . نأخذ نقطة اختيارية (A) على محور (x)، ونقيـــم عندها عمودا طوله AC يمثل حسب مقياس الرسم المختار، القوة $P_0 = V' + P$. ونرسم من النقطة C خطا مستقيما يصنع مع محور (x) زاويـــة α ،

تتحدد من الشرط $\tan\alpha = c_b$ ، ونعتبر نقطة تقاطع هذا الخط المستقيم مع المحور (x) كنقطة الاصل (O) . ومن النقطة B الواقعة على العمود AC (AB يمثل القوة V') ، نرسم خطأ مستقيما يصنع مع محور (x) زاوية β ($\tan\beta = c_p$) . والنقطة D ، التى تتحدد بتقاطع المستقيمين OC و O_1B تحدد القوة المطلوبة للشد الابتدائى V .

والرسمان البيانيان أ ، ب (الشكل ١٠ - ١٢) ، مرسومان للقيم المتساوية P_0 ($P; V'$) و β ، والرسمان يصوران تغير جهد الشد الابتدائى ($V_1 < V$) عندما تكون $\alpha_1 > \alpha$ اى عند زيادة جساءة المسمار. وزيادة جساءة الاجزاء الموصلة قد تتطلب مع عدم تغير P_0 و α زيادة جهد الشد الابتدائى .

وتعتبر المحافظة على استقرار الشد عاملا هاما يحدد كفاءة وصلة اللوالب . ويمكن ان يحدث تغير فى هذه القوة من جراء الازاحة المحورية النسبية بين الاجزاء الموصلة التى يسببها التشوه اللدن فى منطقة التناكب ، او نتيجة للفك الذاتى للاجزاء الملولبة.

ولنلاحظ ان الاجراءات الخاصة بمنع الفك الذاتى بدرجة يعول عليها، لا تعتبر دائما كافية للمحافظة على استقرار جهد الشد فى الوصلة .

ان انخفاض قوة الشد الناتج عن التشوه Δh وهو مجموع الازاحات المحورية التى تحدثها التشوهات اللدنة (الانضغاط فى التعرجات الصغيرة فى اسطح التلامس وغيرها) من جراء تسليط الحمل ، يمكن تحديده من الصيغة :

$$\Delta V_0 = \frac{\Delta h}{\frac{1}{c_b} + \frac{1}{c_p}} \tag{10.7}$$

وبناء على الصيغة (10.7) ، نجد انه مع تخفيض معاملات الجساءة c_b و c_p تقل قيمة ΔV_0 .

وتخفيض قوة الشد الحادث نتيجة للفك الذاتى فى الصامولة عند دورانها بزاوية θ

$$\Delta V_\theta = \frac{S}{2\pi} \cdot \frac{\theta}{\frac{1}{c_b} + \frac{1}{c_p}}, \tag{10.8}$$

حيث S ـ خطوة اللولب .

وواضح ايضا انه فى هذه الحالة يبقى طابع العلاقة بين ΔV_θ وبين c_b ، c_p كما كان عليه فى السابق .

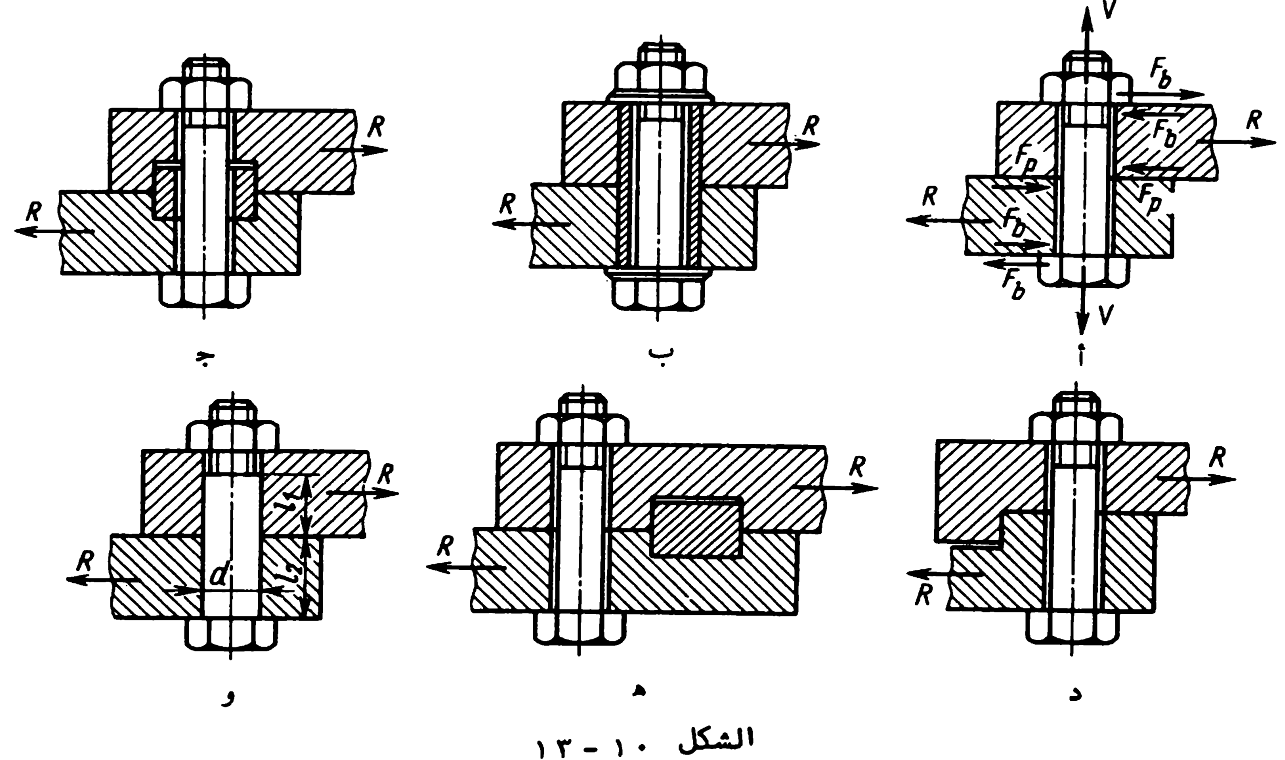
وبأخذ ما ورد اعلاه فى الاعتبار، يوصى للمحافظة على استقرار الشد ، بتصميم تركيبات فى وصلات اللوالب تتمتع باقل عدد ممكن من مناطق التناكب، وبان يجرى تشغيل اسطح تلك المناطق تشغيلا تاما حيث انه تزيد قيمة التشوه Δh ؛ وباستخدام اجهزة الاحكام (الزنق) التى تمنع امكانية حدوث الفك الذاتى فى الصامولات، وباختيار طريقة ربط

مسامير الجويط فى الجسم تمنع امكانية فكها ذاتيا عند وجود الاهتزازات ... الخ .

وتختار الاجهادات فى المسامير نتيجة للشد الابتدائى، بقيم عالية بدرجة كافية، اذ تصل الى القيم $\sigma_{st} = \frac{V}{F_b} = (0.4 \div 0.5)\sigma_y$ وفى بعض الحالات تبلغ قيمة $\sigma_{st} \approx 0.8\sigma_y$.

ويمكن ضمان قيمة الشد المطلوبة مع توفر شرط التحكم فيها اثناء عملية تجميع الوصلة بواسطة قياس : أ ـ استطالة المسمار ؛ ب ـ زاوية دوران الصامولة ؛ جـ ـ عزم اللى اثناء ربط الصامولة بواسطة مفاتيح عيارية. والطريقة الاولى هى اكثرها امانا .

وفى بعض التصاميم، يتم توفير الثبات النسبى بين الاجزاء الموصلة عند تسليط قوى القص (المستعرضة) عليها ، عن طريق الاحتكاك الناتج بين اسطح التلامس نتيجة للشد الابتدائى فى الوصلة.



الشكل ١٠ - ١٣

وعند ادخال المسمار فى ثقب ذى خلوص (الشكل ١٠-١٣ ، أ) تتحدد قوة الشد V بواسطة قيمة قوة الاحتكاك F المطلوبة لضمان انعدام الحركة النسبية بين الاجزاء الموصلة . وباهمال قوى الاحتكاك F_b نحصل على $R \leqslant F_p = fVi$

$$V \geqslant \frac{P}{fi} \qquad (10.9)$$

حيث f ـ معامل الاحتكاك ؛

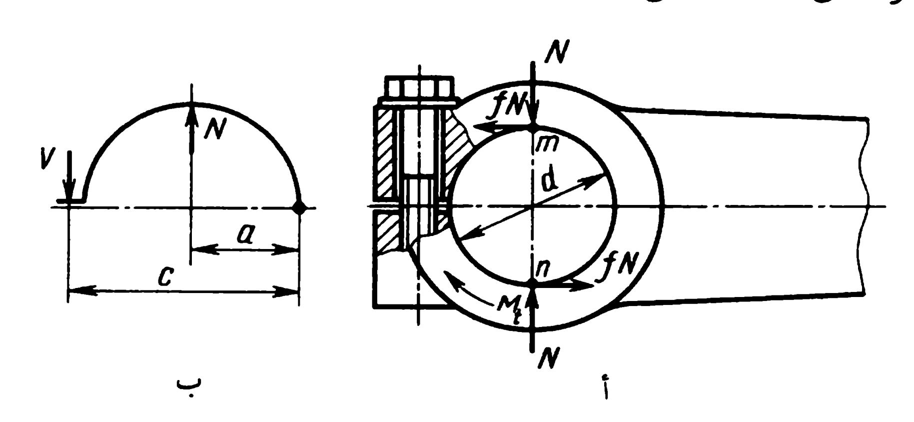
i ـ عدد الوصلات بالتناكب .

واذا ما أخذنا قيمة $f = 0.2$ للاسطح الجافة من الصلب والحديد الزهر ، نحصل بالنسبة للوصلة المبينة فى الشكل ١٠ - ١٣ ، أ ($i = 1$)

على قيمة $V = 5R$. وعند ما يكون عدد الوصلات $i = 2$ تكون القـــوة اللازمة للشد V تساوى $2.5R$.

قوة شد مسامير وصلة القمط فى حالة تحميلها بعزم لى مقداره M_t (الشكل ١٠ - ١٤ ، أ) تتحدد بالشرط $M_{fr} \geqslant M_t$ ؛ حيث M_{fr} - العزم الناتج من قوى الاحتكاك على سطح التماس بين الاجزاء الموصلة.

وسنبحث رسمين حسابيين.



الشكل ١٠ - ١٤

ففى الحالة الاولى ، يفترض انه نتيجة لوجود خلوص قطرى كبير، يحدث تماس خطى بين الاجزاء الموصلة . وقوتا الاحتكاك fN المسلطة فـــى النقطتين m و n تخلقان عزما $M_{fr} = fNd$ يتزن مع العزم M_t . واذا ما اعتبرنا ان $c = 2a$ (الشكل ١٠ - ١٤ ، ب) فمن شرط الاتزان نجــد ان $N = 2V$ ، وعليه

$$M_{fr} = 2Vfd$$

ووفقا للرسم الحسابى الثانى ، يفترض ان الضغط النوعى يتوزع بانتظام على السطح الاسطوانى للتماس الذى يتحدد بزاوية التماس التى تساوى 2π تقريبا . والرسم الحسابى هذا صحيح عندما يكون شكل اسطح التمـــاس شكلا دقيقا ، وعند التوافق بالتداخل الابتدائى ، ومع مراعاة عدة متطلبات تصميمية اخرى.

وعندها يكون الضغط النوعى

$$p = \frac{N}{ld} = \frac{2V}{ld} = \text{const},$$

حيث l - عرض السرة.

والضغط على مساحة العنصر المناظر للزاوية $d\alpha$ يساوى

$$p\frac{d}{2}l\,d\alpha = V\,d\alpha,$$

اما قوة الاحتكاك فى هذا العنصر فتساوى $Vfd\alpha$.

وعلى هذا الاساس يكون عزم قوى الاحتكاك

$$M_{fr} = \int_0^{2\pi} Vf\frac{d}{2}d\alpha = \pi Vfd$$

وفى الواقع فان

$$2Vfd < M_{fr} < \pi Vfd,$$

وعند ما يكون $f = 0.2$ ، فان القيمة المتوسطة لقوة الشد تؤخذ

$$V \approx \frac{2M_t}{d} \quad (10.10)$$

وعند تحميل وصلة القمط بقوة محورية مقدارها A يمكن الحصول على قيم قوة الشد من الشرط الذى ينبع من وجهات النظر المماثلة لما عرض اعلاه

$$4Vf < A < 2\pi Vf$$

اما عندما نأخذ $f = 0.2$ ، فان :

$$V \approx A$$

<u>معاملات الجساءة</u> . تحدد معاملات الجساءة للمسمار ذى المقطع الثابت على اساس الصيغة (2.35) :

$$c_b = \frac{E_b F_b}{l_b} \quad (10.12)$$

وللمسمار ذى المقاطع المتغيرة، فمع اعتباره كجزء يتكون من عدد n من العناصر المرنة الموصلة على التوالى (انظر الجدول ٢ - ١)

$$c_b = \frac{F_b}{\frac{l_1}{F_{b1}} + \frac{l_2}{F_{b2}} + \dots + \frac{l_n}{F_{bn}}} \quad (10.13)$$

وفى الصيغتين (10.12) و (10.13)

l_b - الطول الحسابى للمسمار (القابل للتشوه مع اعتبار تشوه الجزء الملولب من المسمار على طول الجزء المربوط منه) ؛

l_1 ، . . . ، l_n - الاطوال المناظرة للقطاعات المختلفة من المسمار ؛

F_{b1} ، . . . ، F_{bn} - مساحات مقاطع الاجزاء المختلفة من المسمار ؛

E_b - معامل المرونة لمادة المسمار .

وفى المعتاد يؤخذ الطول الحسابى للمسمار

$$l_b = l + 0.3d$$

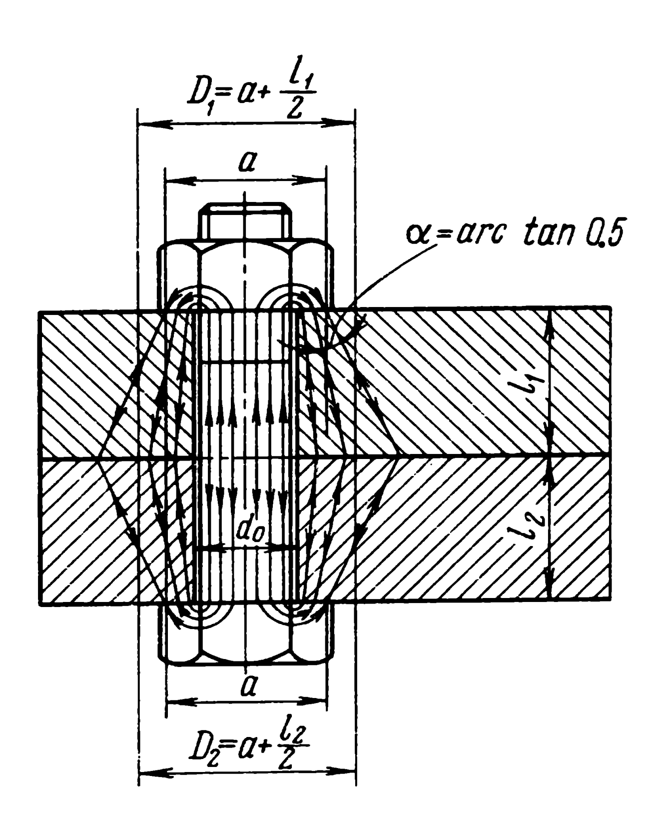
حيث l - سمك الشفتين المربوطتين (المسافة بين طرفى رأس المسمار والسطح الاسفل للصامولة) ،

d - قطر اللولب ؛

c_p - تتحدد حسب الرسم الذى اقترحه بوباريكوف فى عام ١٩١١ ، مع افتراض ان الجهد الناتج من رأس المسمار ومن الصامولة ينتقل الى الاجزاء الموصلة حسب " مخروطات التأثير " التى تكون رواسمها مائلة على محور المسمار بزاوية α ، اما اقطار قواعدها الصغرى فتساوى البعد a (فتحة

مفتاح الصامولة) فى رأس المسمار او الصامولة. وبفرض تبسيط الحسابات تستبدل المخروطات المتشوهة بالاسطوانات بحيث تكون مساحات مقاطعها المحورية مساوية لمساحات المخروطات فى نفس المقاطع .

لقد تم فى بعض الابحاث البرهنة على جواز استخدام الرسم الحسابى هذا عندما تكون اسماك الاجزاء المربوطة قليلة (بحيث لا تتعدى قطر المسمار d) ،ومن اعتبار ان ضغط رأس المسمار او الصامولة ينتقل الى الاجزاء البينية من خلال مساحات حلقية، يجدر اعتبار ان مقدار α يتروح من $\alpha = \arctan 0.4$ الى $\alpha = \arctan 0.5$ ، والحالة الاغلب هى $\alpha = \arctan 0.5$. وعند ذلك (انظر الشكل ١٠ - ١٥)



الشكل ١٠ - ١٥

$$F_{p1} = \frac{\pi}{4}\left[\left(a + \frac{l_1}{2}\right)^2 - d_0^2\right]$$

$$F_{p2} = \frac{\pi}{4}\left[\left(a + \frac{l_2}{2}\right)^2 - d_0^2\right]$$

ويوجد المعامل c_p من الشرط

$$\frac{1}{c_p} = \left(\frac{l_1}{E_{p1}F_{p1}} + \dots + \frac{l_n}{E_{pn}F_{pn}}\right) \quad (10.14)$$

حيث l_1 ،. . .، l_n - اسماك الاجزاء المربوطة ؛

F_{p1} ،. . .، F_{pn} - مساحات مقاطع الاسطوانات المناظرة بالنسبة للاجزاء المربوطة ؛

E_{p1} ،. . .، E_{pn} - معاملات المرونة الطولية لمواد الاجزاء المربوطة.

وفى حالة الاسماك الكبيرة للاجزاء المربوطة يجرى حساب المعامل c_p بدون استبدال "مخروطات التأثير" بالاسطوانات المكافئة - ولكن حسب الصيغ التى تقدر بدقة التشوهات فى هذه المخروطات .

توزيع الحمل بين الاجزاء المطولبة فى الوصلات المتعددة المسامير. فى الوصلة التى تتم بواسطة عدة مسامير ، يعتمد قانون توزيع الحمل بينها على تركيبة الوصلة وطابع الحمل المسلط عليها.

وفى الوصلات المتعددة المسامير ، تؤخذ اقطار المسامير فى المعتاد بحيث تكون متساوية ، على الرغم من ان هذا الحل يكون سليمًا فقط عندما يكون توزيع حمل التشغيل منتظما بين الاجزاء المطولبة. الا ان هذا الحل مسموح به حتى فى حالة تسليط احمال مختلفة على مسامير مختلفة بهدف تخفيض تنوع المنتجات . وعندما تكون اقطار كل المسامير مساوية لقطر المسمار المحمل باكبر حمل.

وعند حل مسألة توزيع الحمل على المسامير فى الوصلة المتعددة المسامير يفترض ان :

١ - نتيجة للجساءة الكافية فى الاجزاء الموصلة فان استواء اسطح الربط لا يختل ،
٢ - الاجهادات التى يسببها الشد الابتدائى متساوية فى كل المسامير*
وسنتناول فيما يلى دراسة التصاميم النمطية للوصلات المتعددة المسامير ، التى يمكن فيها اعتبار ان حمل التشغيل يوزع بالتساوى بين المسامير.
والرسومات الحسابية الاكثر تعقيدا واردة فى كتب خاصة.

١ - مجموعة المسامير محملة بقوى ، محصلتها عمودية على مستوى التناكب وتمر بمركز ثقله .

والحالة الحسابية المناظرة توجد مثلا عند تثبيت اغطية كراسى المحاور (انظر الشكل ٢ - ٤) ، والاغطية المستديرة للاوعية المعرضة لضغط الوسط العامل . وبالنسبة للاغطية المستديرة (انظر الشكل ١٠ - ٨) مع التوزيع المتماثل للمسامير ذات الاطوال المتساوية ، يؤخذ ان كل المسامير محملة بالمساوى.

٢ - مجموعة المسامير محملة بقوى مقطعية تؤثر فى مستوى التناكب على طول خط تماثله .

وتناظر هذه الحالة المسألة التى عرضت فى ص ١٤٧ ،مع وجود عدة مسامير فى الوصلة . ويعتمد الحمل الحسابى على ما اذا كانت المسامير موضوعة فى ثقوبها بالضغط ام مع وجود خلوص . ففى الحالة الاولى

$$R_1 = \frac{R}{z} \text{ kgf} \qquad (10.15)$$

وفى الحالة الثانية

$$V_1 = \frac{R}{i f z} \text{ kgf} \qquad (10.16)$$

حيث z - عدد المسامير.

٣ - مجموعة المسامير محملة بعزم لى حسابى M_t يؤثر فى مستوى التناكب.

وتطابق هذه الحالة مثلا تركيبة الوصلة بين قرصى قابض شفهى (ص ٤٥١ واذا كانت المسامير موضوعة عن طريق الضغط، فان قطر جذع المسمار يحدد من شرط العمل بالقص ، ويكون الجهد العامل فى المسمار

$$R_1 = \frac{2M_t}{z D_b} \text{ kgf} \qquad (10.17)$$

وعند تركيب المسامير فى الثقوب ذات الخلوص يعتبر جهد الربط V_1 للمسمار اللازم لكى ينقل عزم اللى من قرص الى قرص اخر بواسطة الاحتكاك فقط ، جهدا حسابيا :

$$V_1 = \frac{4M_t}{(D_0 + D_1) f z} \text{ kgf} \qquad (10.18)$$

---

* يلزم الاسترشاد بتوصيات المصنع الذى ينتج المسامير، حول تتابع ربط الاخيرة. فمثلا ، ان نظام ربط مسامير الجويط (studs) فى محرك السيارة يوضح فى ارشادات خاصة .

وفى الصيغتين (10.17) و (10.18) :

M_t ـ عزم اللى بالكجم سم ؛

D_b ـ قطر دائرة توزيع المسامير ، سم ؛

D_0 ـ القطر الخارجى للقابض، سم ؛

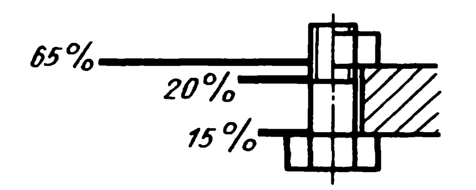
D_1 ـ قطر خراطة الشفة الواحدة من القابض، او القطر الداخلى لحلقة المركزة بالسم .

انواع تحطمات الاجزاء الملولبة . معايير الحسابات . الاسباب الاساسية لاعطاب الوصلات : تحطم الاجزاء او عناصرها ، واختلال استقرار الرباط.

وعند التحميل الاستاتيكى الاكبر من اللازم يمكن حدوث قطع فى جذع المسمار فى مقطع الجزء الاملس أو الجزء الملولب، او قص فى اللولب، وكذلك انحناء اللولب أو انسحاقه . علما بان اعطاب اللولب يمكن ان تظهر سواء فى المسمار ام فى الصامولة .

ويوضح التحليل الاحصائى ان حوالى ٩٠ ٪ من تحطمات الاجزاء الملولبة تحمل طابعا كلاليا . ويفسر هذا قبل كل شىء بتأثير مركزات الاجهادات (اسنان اللولب والمقاطع الانتقالية) ، التى تقلل من متانة الاجزاء الملولبة فى حالة الاجهادات المتغيرة. وتتحطم اثناء ذلك كقاعدة عامة، المسامير على الرغم من ان الاسنان موجودة فى الصامولات ايضا ، وسبب هذا التأثير المعلوم لاجهادات الشد (تتعرض اسنان لولب المسمار لتأثير مثل هذه الاجهادات) ، على ظهور وتطور عملية التحطم الكلالى .

ويوضح الشكل ١٠ - ١٦ توزيع التحطمات الكلالية حسب مقاطع المسمار. وتحدث التحطمات اكثر ما يمكن عند السنة العاملة الاولى او الثانية محسوبة ابتداء من طرف الارتكاز فى الصامولة، كما تحدث التحطمات اقل من ذلك كثيرا فى منطقة بداية اللولب وعند المقطع تحت رأس المسمار.



الشكل ١٠ - ١٦

وفى بعض الاحيان يمكن ان تظهر التحطمات ذات الطابع الكلالى فى حدود الجزء غير الملولب من المسمار وذلك بسبب تأثير الاحمال المقطعية الدورية فى عملية الاستغلال ، والتى لم تدخل فى الأعتبار عند تصميم الوصلة. ان ظهور مثل تلك الاحمال يعتبر ممكنا اذ لم يراعى المصمم اتخاذ الاجراءات الكفيلة باعفاء المسمار من تأثير عدم الدقة اثناء التصنيع ، ومن التجميع الردىء ، ومن الازاحة النسبية بين الاجزاء المربوطة عند وقوع الربط غير المستقر . . الخ .

والاجهادات الظاهرة نتيجة لتغير درجة الحرارة (الاجهادات الحرارية) ، يمكنها ايضا ان تكون سببا فى تحطم الاجزاء الملولبة. وفى بعض الاحيان

تحمل هذه التحطمات طابع الكسور "العفوية الذاتية" اذ انها تحدث حتى قبل تسليط احمال التشغيل .

وهبوط جهد الشد فى عملية التشغيل يجر ورائه الاحلال بالشروط المطلوبة للعمل المشترك بين اجزاء الوصلة ويؤثر على طابع تغير الاحمال التى تتلقاها الاجزاء الملولبة.

وعلى ذلك ينحصر حساب الوصلات الملولبة فى تحديد ابعاد الاجزاء الملولبة التى تضمن متانتها ، اما بالنسبة للوصلات المجمعة بالشد الابتدائى فيدخل فيها ايضا حساب مقدار جهد الشد الابتدائى .

حساب المتانة فى حالة الاحمال الاستاتيكية

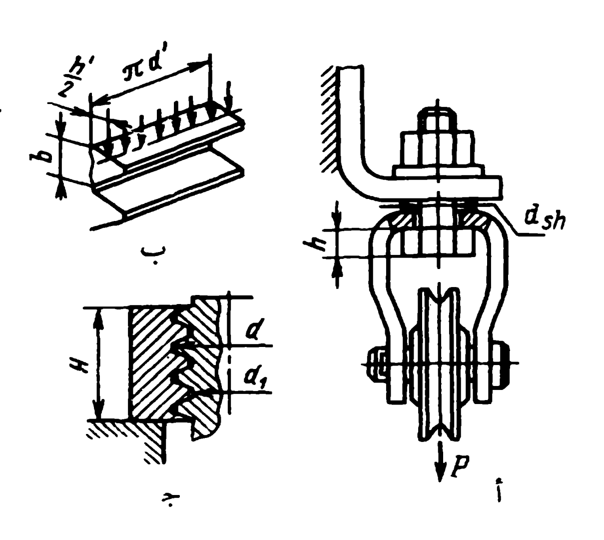
حساب الوصلات المجمعة بدون شد ابتدائي . تعتبر اساسية ، تلك الحالة الحسابية التى فيها الاجزاء الملولبة محملة بقوة محورية، وباختيار القيمة المناسبة للاحمال الحسابية، يمكن ان تضم اليها غالبية الحالات الحسابية الاخرى .

وفى الوصلة الموضحة فى الشكل ١٠ - ١٧ ، أ ، نجد ان المسمار محمل بقوة محورية P . والمجهدات للحساب هى كالتالى :

١ - التركيبة محملة بالتماثل ، ويمكن اعتبار الحمل الذى يتلقاه المسمار مؤثرا على محوره ؛

٢ - المساحة الحسابية للمسمار فى جزئه الملولب تؤخذ على انها مساحة دائرة قطرها d_1 (المساحة الحقيقية للمقطع، تشمل جزءا من السنة، وهى اكبر بعض الشىء من المساحة الحسابية) ؛

٣ - يتوزع الحمل بانتظام بين الاسنان العاملة فى اللولب (فى حدود ارتفاع الصامولة) وهذا الافتراض صحيح بالنسبة للحالة التى تسبق تحطم اللولب . وفى المنطقة المرنة يتوزع الحمل بغير انتظام بين الاسنان العاملة (انظر ص ١٤١).



الشكل ١٠ - ١٧

وشرط المتانة الذى يستبعد امكانية حدوث قطع فى المسمار فى مقطعه الخطر، يمكن كتابته بالشكل التالى :

$$P \leqslant \frac{\pi d_1^2}{4}[\sigma]_t$$

ومن هنا

$$d_1 \geqslant \sqrt{\frac{4}{\pi}\cdot\frac{P}{[\sigma]_t}} \qquad (10.19)$$

ويمكن اعتبار $[\sigma]_t \leqslant 0.4\sigma_y$ للمسامير المصنوعة من الصلب الكربونى ، $[\sigma]_t \leqslant 0.3\sigma_y$ للمسامير المصنوعة من صلب السبائك.

وفى غالبية الحالات، فان وصلات اللوالب المعرضة للاحمال الاستاتيكية، تتكون بمساعدة الاجزاء ذات الاشكال التصميمية والابعاد القياسية. واستخدام المواصفات القياسية يسهل دائما عملية التصميم حيث انه يكفى حساب بعد واحد من ابعاد مواصفات المسمار، اما باقى الابعاد فيمكن ايجادها من جداول المواصفات تبعا لهذا البعد الحسابى. وبالنسبة للاجـــزاء الملولبة يعتبر هذا المتغير هو القطر الداخلى للولب d_1 .

ان النسب بين بعض ابعاد اجزاء الربط والواردة فى المواصفـــات القياسية، هى قائمة على اساس الحسابات مع مراعاة مبدأ التساوى فـــى المتانة بين هذه الاجزاء فى مقاطعها المختلفة يقدر الامكان .

فمثلا يمكن ايجاد ارتفاع رأس المسمار (h) من شرط عدم السمـــاح بقصها فى سطح اسطوانى قطره d_c . واذا ما اخذنا فى الاعتبـــار ان اجهاد القص يوزع حسب ارتفاع الرأس بقانون المثلث ، فام شـــرط المتانة يمكن كتابته على الوجه التالى

$$P \leqslant \frac{1}{2} \pi d_c h [\tau]_s \tag{10.20}$$

وبحل المعادلتين (10.19) و (10.20) معا ، بالتعويض عن $[\tau]_s$ بالمقدار $0.5[\sigma]_t$ ، $d_1 \approx 0.8d \approx 0.8d_c$ ، نجد ان $h = 0.8d_1$ أو $h = 0.64d$ ، مما يطابق التناسبات المنصوص عليها فى المواصفات .

ويمكن ايجاد ارتفاع الصامولة من شروط متانة اسنان اللولب بالنسبـــة للقص والثنى والسحق .

شرط المتانة فى قص اسنان لولب المسمار العاملة فى الصامولة (انظــر الشكل ١٠ - ١٧ ، حـ) :

$$P \leqslant \pi d_1 \beta H [\tau]_s \tag{10.21}$$

حيث β - معامل امتلاء ارتفاع الصامولة H (للاسنان المثلثة $\beta \approx 1$) .

ويمكن اجراء حساب اسنان اللولب على الثنى مع الافتراضات الاضافية التالية: تعتبر السنة المفرودة (انفراد السنة) كعتبة كابولى مثبتة مـــن طرف واحد (الشكل ١٠ - ١٧ ، ب) ، والحمل الموزع على سطح السنة يستبدل بقوة مركزة $\frac{P}{z}$ (حيث z - عدد اسنان القلاووظ فـــى الصامولة) ، مطبقة فى منتصف الارتفاع العامل للسنة ($l = \frac{h}{2}$) وفى هذه الحالة

$$\frac{P}{z} \cdot \frac{h}{2} = \frac{\pi d_1 b^2}{6} [\sigma]_b \tag{10.22}$$

وبأخذ النسب القياسية بين ابعاد اللولب فى الاعتبار، يمكن من هـذا الشرط تحديد البعد $zS = H$.

ويجرى حساب اللولب على السحق بالشرط :

$$P \leqslant \frac{\pi}{4}(d^2 - d_1^2)\, z\, [\sigma]_{cr}$$

وبناء عليه

$$H = zS = \frac{4PS}{\pi(d^2 - d_1^2)[\sigma]_{cr}} \qquad (10.23)$$

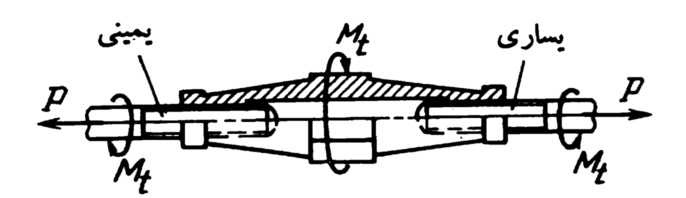
وبحل كل من المعادلتين سويا (10.19) و (10.21)، (10.19) و (10.22)، (10.19) و (10.23) يمكن تحديد ارتفاع الجلبة. ان الارتفاع $H = 0.8d$ الوارد فى المواصفات القياسية يحقق كل الشروط الواردة اعلاه .

وعند احكام ربط الوصلة التى قد حملت اجزاؤها الطولية مسبقا بقوة محورية (الشكل ١٠ - ١٨) ينتج عزم فى اللولب M_{th} يعرض جذع المسمار للى . ويتحدد العزم M_{th} من الصيغة (10.1) والمركبان للاجهاد المكافىء تساويان

$$\sigma = \frac{4P}{\pi d_1^2}\ , \quad \tau = \frac{M_{th}}{W_t} = \frac{P \cdot 0.5 d_2 \tan(\psi + \rho)}{0.2\, d_1^3}$$

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \qquad (10.24)$$

ولتركيبات المسامير حسب المواصفات القياسية يمكن اعتبار ان $d_2 = 1.12 d_1$.
وللمسامير باقطار حتى ٥٠ مم $\tan\psi \approx 0.0194 \div 0.0433$ وبالنسبة للقيمة



الشكل ١٠ - ١٨

المتوسطة للزاوية ρ يكون $\tan\rho \approx 0.2$ ، ونحصل على $\frac{\tau}{\sigma} \approx 0.5$ و $\sigma_{eq} \approx 1.3\sigma$.

ولذلك يمكن اخذ احكام ربط الوصلة فى الاعتبار بدقة كافية للاغراض الهندسية ، اذا عوض عن P_0 بالمقدار $1.3P$ فى المعادلة (10.19) كحمل حسابى .

وعندها يكون القطر الداخلى للولب

$$d_1 \geqslant \sqrt{\frac{4 \times 1.3P}{\pi[\sigma]_t}} \qquad (10.25)$$

والمعطيات اللازمة لاختيار $[\sigma]_t$ واردة فى الكتب الاعلامية . وهى تتغير تبعا للمادة وقطر المسمار - فللاقطار الاصغر ينصح باستعمال القيم الاصغر ل $[\sigma]_t$ وذلك بسبب احتمال حدوث اجهاد اكثر من اللازم نتيجة للربط . فمثلا للمسامير المصنوعة من الصلب الكربونى

للاقطار $d = (16 \div 30)\text{mm}$ ، $[\sigma]_t = (0.25 \div 0.4)\sigma_y$ اما للاقطار $d = (30 \div 60)\text{mm}$ فتؤخذ $[\sigma]_t = (0.4 - 0.6)\sigma_y$ .. الخ .

حساب الوصلات المجمعة بشد ابتدائي . عند تحليل عمل الوصلات المجمعة بالشد الابتدائي ، التى توجد اجزاؤها المطلوبة تحت تأثير احمال عاملة محورية (الشكل ١٠ - ١٠) ، يتضح ان القوة المحورية المؤثرة على المسمار $P_0 = P + V'$. وباعتبار $V' = \gamma P$ ، نجد ان :

$$P_0 = P + V' = P(1 + \gamma) \tag{10.26}$$

وبأخذ العلاقة (10.5) فى الاعتبار يمكن كتابة الصيغة (10.26) بالشكل التالى :

$$P_0 = V + P\frac{c_b}{c_b + c_p} \tag{10.27}$$

أو

$$P_0 = V + P_z$$

اى انه فى الوصلات المجمعة بقوة الشد الابتدائى V ، بعد تسليط حمل التشغيل P ، تزيد القوة المؤثرة على المسمار بمقدار :

$$P_z = P \cdot \frac{c_b}{c_b + c_p} < P \tag{10.28}$$

والشكل (١٠ - ١١) يوضح حل العلاقتين (10.26) و (10.27) بالرسم .

وتأثير العزم M_{th} الذى يعرض جذع المسمار للى ، يؤخذ فى الاعتبار طبقا للعلاقة (10.24) ، وبناء عليه فان القطر الداخلى للمسمار فى قسمه المطلوب

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 \times 1.3P_0}{\pi[\sigma]_t}} \tag{10.29}$$

وعلى ذلك فان تصميم الوصلات موضع الاعتبار يجرى حسب النظام التالى :

١ - تحديد حمل التشغيل P الذى يخص مسمار واحد (فى المعتاد ، المسمار الاكثر تحميلا) ؛

٢ - تحديد قيمة الربط المتبقى $V' = \gamma P$ ؛

٣ - حساب الحمل الحسابى المحورى $P_0 = P + V'$ ؛

٤ - تحديد ابعاد مقطع المسمار حسب الصيغة (10.29) ؛

٥ - وضع تركيب الوصلة ؛

٦ - حساب قيمتى c_b ، c_p من الصيغ (10.12) - (10.14) ؛

٧ - تحديد قوة الشد الابتدائى V ، المطلوبة والتى تضمن تحقيق الشروط الموضوعة حسب الصيغة (10.6) .

والتحكم فى قوة الربط بهدف المحافظة على استقرار القوة V ، وبناء عليه القوة V' ، يكتسب بالنسبة بهذه الوصلات اهمية بالغة (انظر ص ٣٢٦) .

حساب الوصلات التي تحمل اجزاؤها الملولبة بقوى مقطعية . لنبحث الوصلة المبينة فى الشكل ١٠ - ١٣ ، أ والمحملة بقوى تحدث ازاحة فى الاجزاء فى مستوى التناكب. وتعتبر قوى الربط المحسوبة من الصيغة (10.9) هى الاحمال المحورية الحسابية للمسامير الموضوعة فى ثقوب ذات خلوص .

وتؤدى قوى الاحتكاك المسلطة على حافتى رأس المسمار والصامولة (الشكل ١٠ - ١٣ ، أ) الى انحراف محور المسمار عن محور الثقب، والى اعادة توزيع الضغوط النوعية على اسطح الارتكاز . وفى المعتاد تهمل اجهادات الثنى الناتجة من هذا فى مقاطع المسمار.

وبناء على ذلك فان القطر الداخلى للمسمار

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 \times 1.3 V}{\pi [\sigma]_t}} \tag{10.30}$$

وعند تحليل العلاقة (10.9)، يتضح ان جهد الربط فى هذه الحالات يزيد بعدد من الاضعاف عن حمل التشغيل R . ولهذا فان اقطار المسامير الناتجة تكون كبيرة. ولهذا السبب يستحسن استخدام تركيبة خاصة تتلقى حمل التشغيل R وتضمن منع الحركة النسبية بين الاجزاء الموصلة، وبهذا تتحرر المسامير من تأثير الاحمال المقطعية. والشكل (١٠ - ١٣ ، ب - هـ) يوضح بعض الحلول الممكنة.

وكحالة خاصة يمكن ان توضع المسامير فى ثقوبها بضغط غير كبير (الشكل ١٠ - ١٣ ، و)، علما بان جذع المسمار يتلقى فى هذه الحالة حمل التشغيل ، ويتحدد قطره من الشرط:

$$d_{sh} = \sqrt{\frac{4R}{\pi [\tau]_s}} \tag{10.31}$$

واذا كانت $l_1 < l_2$ فيجب مراعاة الشرط $R \leqslant d_{sh} l_1 [\sigma]_{cr}$ ، علما بانه فى الصيغ الواردة اعلاه :

$$[\tau]_s \leqslant (0.2 - 0.3)\sigma_y$$

$$[\sigma]_{cr} \leqslant (0.3 - 0.4)\sigma_y$$ للصلب ؛

$$[\sigma]_{cr} \leqslant (0.25 - 0.3)\sigma_{yut}$$ للحديد الزهر.

حساب المسامير المحملة بقوى الانحناء . يظهر ذلك التحميل اما بسبب الحلول التصميمية الاضطرارية، واما بسبب انحراف مستويات ارتكاز رأس المسمار او الصامولة على الاجزاء الموصلة ، او نتيجة للتشوه المرن للاخيرة.

والشكل (١٠ - ١٩ ، أ) يوضح ربط الاجزاء بمساعدة مسمار رأسه غير متماثلة. وتستخدم هذه المسامير فى الحالات التى لا يمكن فيها وضع رأس المسمار القياسية (المتماثلة)، او عندما يكون تثقيب الثقب فى احد الاجزاء الموصلة غير مسموح به. وكما يظهر من الرسم التخطيطى للتحميل ، فان الاجهاد الناجم فى مقاطع المسمار :

$$\sigma_{th} = \sigma \pm \sigma_{bend}$$

حيث σ - الاجهاد الناتج من الحمل المحورى ؛

σ_{bend} - الاجهاد الناتج من عزم الثني .

ومثل هذا الشكل من تحميل المسمار (أو الجويط) يمكن ان يظهر عند استخدام اجزاء ملولبة من التصاميم القياسية اذا لم يتوفر تماس طبيعي بين اسطح الارتكاز (الشكل ١٠ - ١٩ ، ب) .

ونتيجة لضغط الصامولة ينحني مسمار الجويط. واجهاد الثنى الذى يظهر فى جذع المسمار، اذا لم نأخذ فى الاعتبار تأثير قوة الشد المحورية، يمكن ان يحدد انطلاقا من الاعتبارات التالية .

لنفرض وجود ثنى خالص فى الجذع، وعندها يكون عزم الثنى

$$M_{bend} = \frac{EJ}{\rho},$$

الشكل ١٠ - ١٩

حيث E - معامل مرونة مادة المسمار؛

J - عزم القصور الذاتى لمقطع جذع المسمار .

ومن الشكل ١٠ - ١٩ ، $\rho = \frac{l}{\tan\alpha}$ واعتبارا لصغر الزاوية α يمكن اعتبار ان $\tan\alpha \approx \alpha$ (بالتقدير الدائرى) ، $\rho = \frac{l}{\alpha}$.

وحيث ان $J = \frac{\pi d_{sh}^4}{64}$ ، $W = \frac{\pi d_{sh}^3}{32}$ ، فان اجهاد الثنى فى الجذع

$$\sigma_{bend} = \frac{M_b}{W} = \frac{1}{2} E\alpha \frac{d_{sh}}{l} \qquad (10.32)$$

وفى الجزء الملولب من المسمار

$$\sigma_{bend} = \frac{1}{2} E\alpha \left(\frac{d_{sh}}{d_1}\right)^3 \frac{d_{sh}}{l} \qquad (10.33)$$

ومن تحليل الصيغتين (10.32) و (10,33) نجد ان اجهاد الثنى يكون اقل كلما قل قطر جذع المسمار (الجويط) ،وكلما زاد طول المسمار (اذا تساوت باقى الشروط) .

حساب المتانة فى حالة الاحمال المتغيرة

معامل الامان . عند تحميل الاجزاء الملولبة بقوى تخلق اجهادات متغيرة، تستخدم كقاعدة وصلات تجمع بشد ابتدائى . ومن الشكل (١٠-٢٠) يظهر انه فى حالة الحمل الخارجى المتغير فى حدود $P \to 0$ ،تظهر فى مقاطع المسمار اجهادات متغيرة، يكون الحد القصى لدورة تغيرها

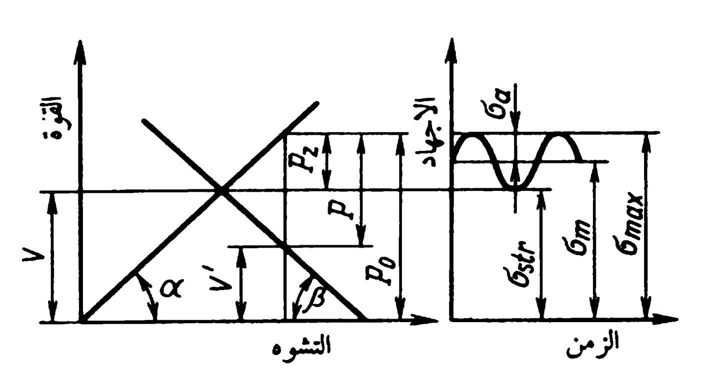
$$\sigma_{max} = \sigma_m + \sigma_a ,$$

حيث $\sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} = \frac{P_z}{2F_b}$ وهى سعة الدورة $(\sigma_{min} = \sigma_{str})$ ؛

$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2} = \frac{V}{F_b} + \sigma_a = \sigma_{str} + \sigma_a$ وهى الجهد المتوسط فى الدورة ؛

σ_{str} ـ الاجهاد الناتج من الربط .

وحسب معطيات الحساب الابتدائى من شروط المتانة الاستاتيكية عند القيم المخفضة للاجهادات المسموح بها ، تحدد ابعاد اجزاء وصلة ، التى يمكن بمعرفتها وضع تصميم الوصلة ، ثم من الصيغة (10.28) و (10.6) يمكن حساب كل من V و F_z .



الشكل ١٠ ـ ٢٠

وعند تعيين معامل الامان يجب الاخذ فى الاعتبار العوامل التصميمية (تركيز الاجهادات، ومعامل الحجم) ، والتكنولوجية (طريقة التصنيع، وزيادة المتانة) وغيرها من العوامل المؤثرة على المتانة. فى احوال الاجهادات المتغيرة. وتقدر المتانة من الشرط

$$n_a = \frac{(\sigma_{-1})_b}{\sigma_a} = \frac{(\sigma_{-1})_b}{\frac{P_z}{2F_b}} \geqslant [n_a], \quad (10.34)$$

حيث $(\sigma_{-1})_b$ ـ حد الاطاقة للوصلة الملولبة ؛

$[n_a] \geqslant 2.5$

واذا كانت قيمة $(\sigma_{-1})_b$ غير معروفة، فان حد الاطاقة للوصلة الملولبة يتحدد من الصيغة

$$(\sigma_{-1})_b = \frac{(\sigma_{-1})_t}{k_\sigma} .$$

حيث $(\sigma_{-1})_t$ ـ حد الاطاقة لمادة المسمار فى حالة الشد ـ الضغط عند الدورة المتماثلة، ولانواع الصلب من الماركات 35 و 45 يمكن اعتبار $(\sigma_{-1})_t$ مساوية لـ ١٨٠٠ و ٢٢٠٠ كجم/سم ٢ على التوالى ؛

k_σ ـ المعامل الحقيقى لتركيز الاجهادات الذى يحدد تبعا للمادة، وللابعاد وطريقة التصنيع ، وشكل السنة ... الخ .

مثلا بالنسبة للاجزاء المصنوعة من الصلب الكربونى والملولبة باللولب المترى $k_\sigma = 3.0 \div 4.5$ ، وللمصنوعات من صلب السبائك $k_\sigma = 4.0 \div 5.5$. وترجع القيم الكبرى للوالب ذات الاقطار $d > 24$ mm ، وللوالب المصنوعة بالدلفنة فان قيم k_σ يجدر تخفيضها بنسبة ٢٠ ـ ٥٠ ٪ .. الخ .

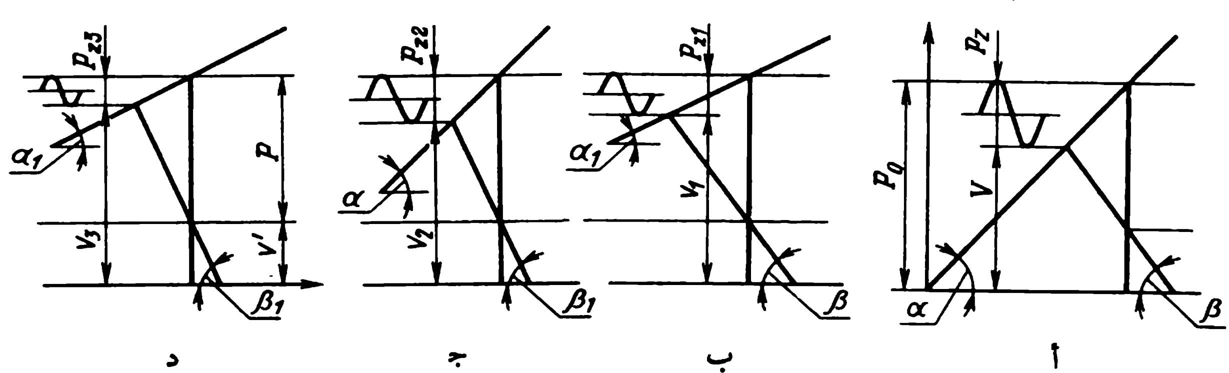
ومما ورد اعلاه يفهم ان عند اختيار المادة، يكون رفع قوة الاطاقة ممكنا عن طريق :

أ ـ تقليل قيمة σ_a مع ثبات σ_{max} وذلك بغرض تقريب الدورة من الدورة التى تكون بها $\sigma = const$ ؛

ب ـ تقليل تركيز الاجهادات ؛

جـ ـ تحسين توزيع الحمل بين الاسنان العاملة للولب .

ان تغيير النسبة بين σ_m و σ_a مع ثبات σ_{max} على حساب تقليل قيمة σ_a يمكن التوصل اليه بواسطة زيادة مطيلية الاجزاء التابعة لمنظومة المسمار، وخصوصا بواسطة استخدام مسامير "مرنة" وبزيادة جساءة اجزاء منظومة الجسم .



الشكل ١٠ - ٢١

وفى الشكل (١٠ - ٢١، أ ـ د) ترد الرسوم البيانية الحسابية المرسومة للوصلات ذات اجزاء مختلفة الجساءة تحت الظروف المقارنة ـ القيم المتساوية لحمل التشغيل P ، الذى يتغير فى حدود $P \rightleftarrows 0$ ، والقوة المتخلفة من الشد V' . ومعاملات جساءة اجزاء الوصلة تتحدد بزوايا ميل خطوط الميل المناظرة والتى توصف علاقة التشوه بالقوى المؤثرة . ومن مقارنة الرسوم البيانية الموضحة فى الشكل (١٠ -٢١ ـ أ ، ب) يتضح انه مع تقليل جساءة (زيادة مطيلية) المسمار ($\alpha_1 < \alpha$)، بغرض توفير القيمة المعطاة للقوة V' ، تلزم زيادة قوة الشد الابتدائى ($V_1 > V$) علما بان سعة الدورة σ_a تقل مع ثبات $\sigma_{max} = \frac{P_0}{F_b}$ حيث ان

$$\sigma_{a_1} = \frac{P_{z_1}}{2F_b} < \sigma_a = \frac{P_z}{2F_b}$$

ومن المعلوم انه كلما قلت σ_a مع ثبات قيمة σ_{max} ، زاد عدد تغيرات الاحمال اللازم لتحطيم التصميم، اى يصبح مثل هذا التصميم بعمر تحمل اكثر .

ومن العلاقتين (10.12) و (10.13) نستنتج ان تقليل جساءة المسمار يمكن التوصل اليها عن طريق زيادة طوله، وتقليل مساحة مقطعه فى نطاق الجزء غير الملولب منه بشرط ضمان متانة استاتيكية متساوية فى جزئيه الملولب وغير الملولب [بتقليل قطر الجزء غير الملولب من المسمار $d_{sh} = (0.85 \div 1.0)d_1$ (الشكل ١٠ - ٢٢، أ) ، وباستخدام مسامير جوفاء (الشكل ١٠ - ٢٢، ب) ، وقطع عدة قنوات (مجار) ذات مقطع نصف دائرى فى الجزء غير الملولب من جذع المسمار على طول محوره] .

وعند تعيين عدد المسامير فى الوصلة، يجب الاخذ بعين الاعتبار ان من الافضل توزيع الحمل على عدد اكبر من المسامير (مع تساوى مجموع مساحات المقطع تقريبا) ولكن ابعادها يجب ان تكون كافية لتلافى احتمال وقوع قص فى اسنان المسامير عند تجميع الوصلة. علما بان زيادة قوة الاحتمال يتم التوصل اليها ايضا نتيجة للتأثير الحجمى . فمثلا تتناسب حدود الاطاقة للوالب المترية M72 M20, M45, فيما بينها بالنسب ٢ر٥ : ٥ر١ : ١ .

ومن الرسوم البيانية (الشكل ١٠-٢١ ، أ ، جـ) نستنتج ان تقليل سعة الدورة يتم التوصل اليه ايضا بواسطة زيادة الجساءة (تقليل المطيلية) للاجزاء المكونة للوصلة.

الشكل ١٠ - ٢٢

والشكل يبين الرسوم البيانية الحسابية للوصلات التى تختلف فيما بينها بواسطة معاملات الجساءة $\varepsilon_p(\beta_1 > \beta)$، علما بان $P_{z_2} < P_z$ وبناء عليه $\sigma_{a_2} < \sigma_a$ مع ثبات قيمة σ_{max} . وتقليل عدد مستويات التناكب وزيادة جودة تشغيلها - زيادة كفاءة تشغيل الاسطح المتلامسة التى تكون التناكب فى الوصلة تساعد على زيادة جساءة التلاحم وبناء على ذلك، زيادة قوة احتمال اجزاء الوصلات الملولبة.

وبأخذ تأثير تصميم الوصلة على خواص مرونة اجزائها (انظر ص ١٤٢) يمكن التوصل الى استنتاج انه عند حل مسألة زيادة قوة الاحتمال لاجزاء الوصلات الملولبة، يفضل من الحلين الموضحين فى الشكل ١٠-٨، اختيار الحل (ب) .

وكل الحلول التصميمية الواردة يجمعها المبدأ الذى يعرف فى بعض الاحيان اختصارا ب : " الشفهات الجسيئة والمسامير القابلة للاستطالة ".

ان تقليل تركيز الاجهادات يمكن ان يتم التوصل اليه بواسطة تحسين شكل مقطع اللولب، وبتغيير تصميم قطاع مدخل اللولب والجزء الانتقالى بين جذع ورأس المسمار.

ومعامل تركيز الاجهادات فى القسم الملولب يعتمد على نصف القطر لمنحنى جذر السنة وذلك مع ثبات الظروف الاخرى. فيمكن رفع قوة التحمل باستعمال شكل دورانى لجذر السنة يحدده نصف قطر زائد . وبالاخذ بعين الاعتبار تأثير العامل الحجمى والحساسية تجاه تركيز الاجهادات يجب اختيار نصف قطر المنحنى بحيث يزيد مع زيادة قطر المسمار ومع زيادة حد متانة المادة.

وحسب معطيات التجارب فانه عندما تكون $r = 0.2S$ فان متانة وصلات اللولب عالية التحميل ترتفع بنسبة ٢٤٪ - ٤٠ ٪ واذا ما زاد نصف قطر

المنحنى عن ذلك يمكن ان يسوء عمل الوصلة حيث انه تقل بذلك مساحة سطح التماس بين اسنان المسمار والصامولة ، وبناء عليه يزيد الضغط النوعي .

ويوصى بتنفيذ شكل الانتقال من القسم الاملس الى القسم الملولب على صورة مجرى سلس متسع (طول المجرى $l = 0.5d$ وقطر المجرى $d_0 = 0.96d_1$)، وهو يقوم بوظيفة مركز للاجهادات (تفريض) ، يساعد على تسوية مسار القوى (انظر ص ٤٦) .

وهناك انواع مختلفة لتزاوج الجذع مع رأس المسمار، المستخدمة لتقليل تركيز الاجهادات . ولكن نتيجة لارتفاع تكاليف المسامير ذات مثل هذه الاشكال من التلاحم، تستخدم فقط فى التصاميم ذات المسئولية وعالية التحميل . اما فى الحالة العامة فيستخدم منحنى نصف قطره $R \geqslant 0.2d$.

ان تحسين توزيع الحمل بين الاسنان العاملة فى اللولب فيتم التوصل اليه عن طريق استخدام صامولات ذات تصميم خاص (انظر ص ١٤١) ، وكذلك باستخدام مادة يكون معامل مرونتها E_n . اقل من معامل المرونة فى الشد لمادة المسمار E_b فمثلا عندما يكون $E_n = \frac{E_b}{3}$ ، يكون الحمل على السنة الاولى من اللولب اقل بنسبة ٣٠٪ - ٤٠ ٪ بالمقارنة بالتركيبة التى فيها $E_n = E_b$.

وعند تصميم الوصلة يكون من المهم ضمان تحرير الاجزاء الملولبة من اجهادات الثنى التى يسببها ميل السطوح . ويكون هذا ملموسا بنوع خاص بالنسبة للاجزاء المصنعة من انواع الصلب عالية المتانة حيث $\sigma_{ut} = 130 \div 180$ kgf/cm^2 . فمثلا ، حتى فى حالة وجود زاوية انحراف صغيرة ($\alpha = 35'$) ، يكون تحمل الوصلات الملولبة مع وجود الحد الادنى من الخلوصات فى اقطار اللولب ، يقل بنسبة ١٢ ٪ ، وعندما تكون زاوية الانحراف $\alpha = 2°30'$ ، يقل التحمل بنسبة ٥٦ ٪ . وبمساعدة التصاميم الخاصة للصامولات والوردات، والتشغيل المناسب لاسطح الارتكاز يمكن تلافى تأثير الانحرافات.

وتأثير تكنولوجيا التصنيع على المتانة الاستاتيكية للاجزاء الملولبة تأثير ضئيل . ولكنها تبدى تأثيرا ملموسا فى حالة الاجهادات المتغيرة.

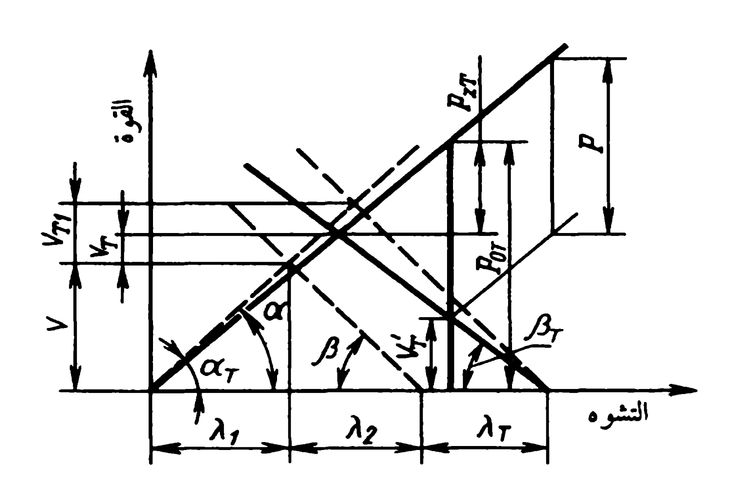
وتعتبر كفاءة تشغيل سطح اللولب، والخواص الطبيعية الميكانيكية للطبقة السطحية فى الاجزاء الملولبة (درجة الصلادة بالتشغيل على البارد ، والاجهادات المتخلفة التى تعتمد على الطريقة المتبعة فى التصنيع ونظم التشغيل) ، تعتبر جميعها من اهم العوامل المحددة لدرجة تأثير تكنولوجيا التصنيع .

فمثلا ، عند رفع درجة كفاءة تشغيل سطح اللولب المقطوع او المجلخ من الدرجة السابعة الى الدرجة العاشرة يمكن ان تزيد السعة الحدية لدورة الاجهادات بنسبة ٣٠ - ٥٠ ٪ ، ويؤثر هذا تأثيرا اكثر فعالية على المسامير المصنوعة من الصلب ذى المتانة العالية.

كما تبدى تأثيرا اكبر على قوة التحميل الاجهادات المتخلفة، التى تظهر فى الطبقات السطحية للولب اثناء عملية تشغيله.

وعند تشكيل اللولب بالدلفنة وفق تكنولوجيا سليمة الاعداد ، ونتيجة للتشوهات اللدنة يصنع شكل مقطع اسنان اللولب بحيث ترتب فيه الالياف ترتيبا ملائما (وهذا خلافا عن اللولب المقطوع حيث تكون الالياف فيه متقطعة دائما) كما تبقى اجهادات ضغط متخلفة فى الطبقة السطحية . ويضمن هذا رفع قوة التحميل للولب المدلفن بنسبة ٤٠ - ٩٥ ٪ بالمقارنة مع اللولب المجلخ .

ان طريقة دلفنة جذور اسنان اللولب بعد قطعها او معالجتها بالتجليخ الابتدائى تعتبر طريقة عالية الفعالية. ونتيجة لمثل هذه المعالجة يمكن رفع قوة التحمل الى الضعف تقريبا .



الشكل ١٠ - ٢٣

الاجهادات الحرارية. لنفرض ان الوصلة المرسومة فى الشكل ١٠ - ١٠ مربوطة بشد ابتدائى قوته V .

وتشوه عناصرها هى λ_1 ، λ_2 على التوالى، والتشوه الكلى يعبر عنه بالمقدار $\lambda_1 + \lambda_2$ (الشكل ١٠-٢٣) . واذا ما فرضنا ان

$$l_b = l_1 + l_2 = l_p = l$$

(الشكل ١٠ -٨) ، فانه مع ارتفاع درجة حرارة المسمار فى حالته الحرة قد يزيد طوله بمقدار $l\alpha_1 t_1$ ، اما الجزء فيزيد طوله بمقدار $l\alpha_2 t_2$ ، حيث α_2 و α_1 - معاملا التمدد الطولى لمادتى المسمار والاجزاء الموصلة، t_2 و t_1 الفرق بين درجتى حرارة المسمار والاجزاء الموصلة وبين درجة حرارتهما عند تجميع الوصلة.

وحيث ان الاجزاء الموصلة تصنع فى العادة من مادة يكون معامل تمددها الطولى α_2 اكبر من معامل التمدد الطولى لمادة المسمار α_1 ، فانه عند زيادة درجة الحرارة بالمقدارين t_1 ، t_2 (والفرق بينهما قليل) فان $l\alpha_2 t_2 > l\alpha_1 t_1$. وحيث ان الاجزاء المربوطة ببعضها البعض تتشوه سويا ، فان التمدد الحرارى للوصلة $\lambda_T = l(\alpha_2 t_2 - \alpha_1 t_1)$ وتظهر عند ذلك قوة اضافية V_{T_1} تشد المسمار وتضغط على الوصلة، ويمكن ان تحدد بالطريقة الاعتيادية (انظر الرسم الموضح فى الشكل ١٠-٢٣ بواسطة الخطوط المتقطعة) مع الافتراض ان قيمتى $c_b = \tan\alpha$ و $c_p = \tan\beta$ لا تتغيران بتأثير الحرارة.

وفى الواقع فان القوة الاضافية V_T ، التى يمكن اعتبارها زيادة فى قيمة الشد الابتدائى اقل من القيمة الناتجة V_{T_1} ، حيث انه مع ارتفاع درجة الحرارة فى الوصلة تتغير معاملات المرونة للمواد التى تصنع منها الاجزاء ($E_{1T} < E_1;\ E_{2T} < E_2$ وبناء عليه تكون $\beta_T < \beta,\ \alpha_T < \alpha$) .

وبأخذ هذا الظرف فى الاعتبار فان الزيادة الفعلية فى قوة الشد

الابتدائى V_T تظهر فى الرسم الواضح على نفس الرسم البيانى السابق بالخطوط المستمرة. والقيم الباقية (V'_T - مقدار الشد المتبقى فــــى التلاحم و P_{0T} - الحمل الحسابى فى حالة حمل التشغيل المحدد P) فيمكن تحديدها اما بالرسم (الشكل ١٠ - ٢٣) أو تحليليا. وفى الحالة الاخيرة يمكن استنباط صيغ مماثلة لتلك المستخدمة احساب الوصلات المجمعة بواسعة الشد الابتدائى والعاملة تحت درجات الحرارة العادية.

والقوة الحسابية للمسمار

$$P_{0T} = V'_T + P$$

وفى حالة التحميل الاستاتيكى طويل الاجل فان

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 P_{0T} [n]}{\pi \sigma_t}}, \qquad (10.35)$$

حيث σ_t - حد المتانة الطويلة الامد للمسمار عند درجة الحــــــرارة المعطاة وهو يساوى تقريبا ٨ر. من القيمة المناظرة لحد المتانة الطويلة الامد للمادة ؛

$[n]$ - معامل الامان ويؤخذ مساويا ٢ - ٣ .

وفى حالة الاحمال المتغيرة

$$d_1 = \sqrt{\frac{2 P_{zT} [n]}{\pi \sigma_{aT}}}, \qquad (10.36)$$

حيث $\frac{P_{zT}}{2}$ - سعة الحمل المتغير وتحدد من الرسم البيانى ، كجم ؛

σ_{aT} - السعة الحدية للدورة عند درجة الحرارة المعنية - كجم/سم٢ .

وتستخدم الطريقة المعروضة اعلاه لحساب الوصلات الملولبة عند درجة حرارة $t \geqslant 300\ °C$ للاجزاء المصنوعة من الصلب، ولدرجة الحــــــرارة $t \geqslant 100\ °C$ - للاجزاء المصنوعة من السبائك الخفيفة. كما ويمكـــــن استخدام هذه الطريقة فقط بعد الحساب الابتدائى والتجهيز التصميمــى للوصلة، عندما تكون المقادير المطلوبة لتحديد P_{0T} ، P_{zT} معروفة.

الباب الحادى عشر

اليايات

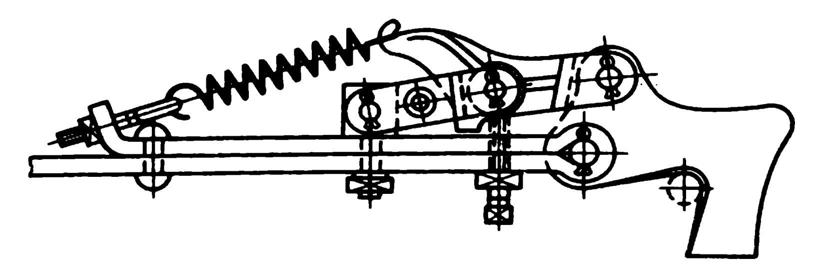
معلومات عامة

اغراضها . تقوم اليايات (الزنبركات) فى الماكينات بدور العناصر المرنة. فهى اذ تتلقى شغل القوى الخارجية، تحوله الى شغل التشوه المرن للمادة المصنوعة منها . واذا ازيل الحمل عن الياى فان الشغل المبذول فى السابق يسترجع باكمله تقريبا بمجرد اختفاء التشوه.

والاشكال التصميمية لليايات، تسمح للاخيرة تلقى تأثير القوى الخارجية على طول ازاحات كبيرة، اى بتلقى تشوهات ملموسة دون ان تفقد خواصها المرنة. فمثلا ان الياى الاسطوانى اللولبى المصنوع من سلك فولاذى ، يمكن ان يشد (يسحب) بمقدار ضعف طوله تقريبا دون ان يفقد خواص مرونته، فى حين ان المسمار الملولب المصنوع من نفس صنف الفولاذ ، يتوقف عن التصرف " المرن " ويبدأ فى التشوه المتخلف اذا ما سبب الحمل المسلط عليه استطالة فيه تزيد قليلا عن ٠٠٤ر٠ من طوله الاصلى .

وتستخدم اليايات فى الماكينات والاجهزة بمثابة :

أ ـ عناصر للقوة توفر تأثير جهود معينة على طول قطع معين من الازاحة (مثل ياى تجهيزة الامان لمحراث الجرار، الشكل ١١ - ١) ؛



الشكل ١١ - ١

ب ـ مخمدات (مخففات للصدمات) (التى تتلقى الطاقة اللحظية للصدمة، وهذه اليايات تبعثر طاقة الصدمة فى صورة اهتزازات مرنة) ؛

جـ ـ محركات ـ مصادر للحركة فى الميكانزمات (زنبركات) الساعات واسلحة الرماية . . الخ) ؛

د ـ عناصر حساسة فى اجهزة قياس القوى .

تصنيفها . تقسم اليايات حسب شكلها وتركيبها الى يايات لولبية اسطوانية، ومخروطية، ويايات الاطباق، والحلقات، والقضبان، وغيرها .

كما تقسم حسب نوع التحميل الى يايات الشد، والضغط واللى، والثنى .

والشكل (١١-٢ ، أ-د) يوضح التصنيف لليايات حسب الشواهد المذكورة.

تصميم اليايات وموادها

المواد . اكثر اليايات اللولبية انتشارا تصنع من انواع الصلب الكربونى ذى نسبة الكربون العالية مثل الانواع ٦٥ ، ٧٠ ، ٧٥ ، والصلب المنجنيزى 65Г ، 55ГС ، والصلب السليكونى 55C2 ، 60C2 ، اما يايات الصمامات المخصصة للاحمال الثقيلة فى محركات الاحتراق الداخلى فتصنع من انواع صلب سبائك الكروم والغاناديوم.

واليايات العاملة فى وسط ربط او وسط كيميائى فعال فتصنع من البرونز السليكونى المنجنيزى КМц3 – 1 ، والبرونز القصديرى الزنكى ОЦ 4 – 3 ، وبرونز البريليوم Б – 2 ، Б – 2.5 .

وقبل لف اليايات اللولبية تعالج اسلاكها حراريا ، فيما عدا الحالات التى يزيد فيها قطر السلك عن ١٢ مم ويلزم للف الياى فيها تسخين ابتدائى يزيل تأثير المعالجة الحرارية.

وتحوى المراجع التخصصية معطيات مفصلة لاختيار المادة والاجهادات المسموح بها لليايات.

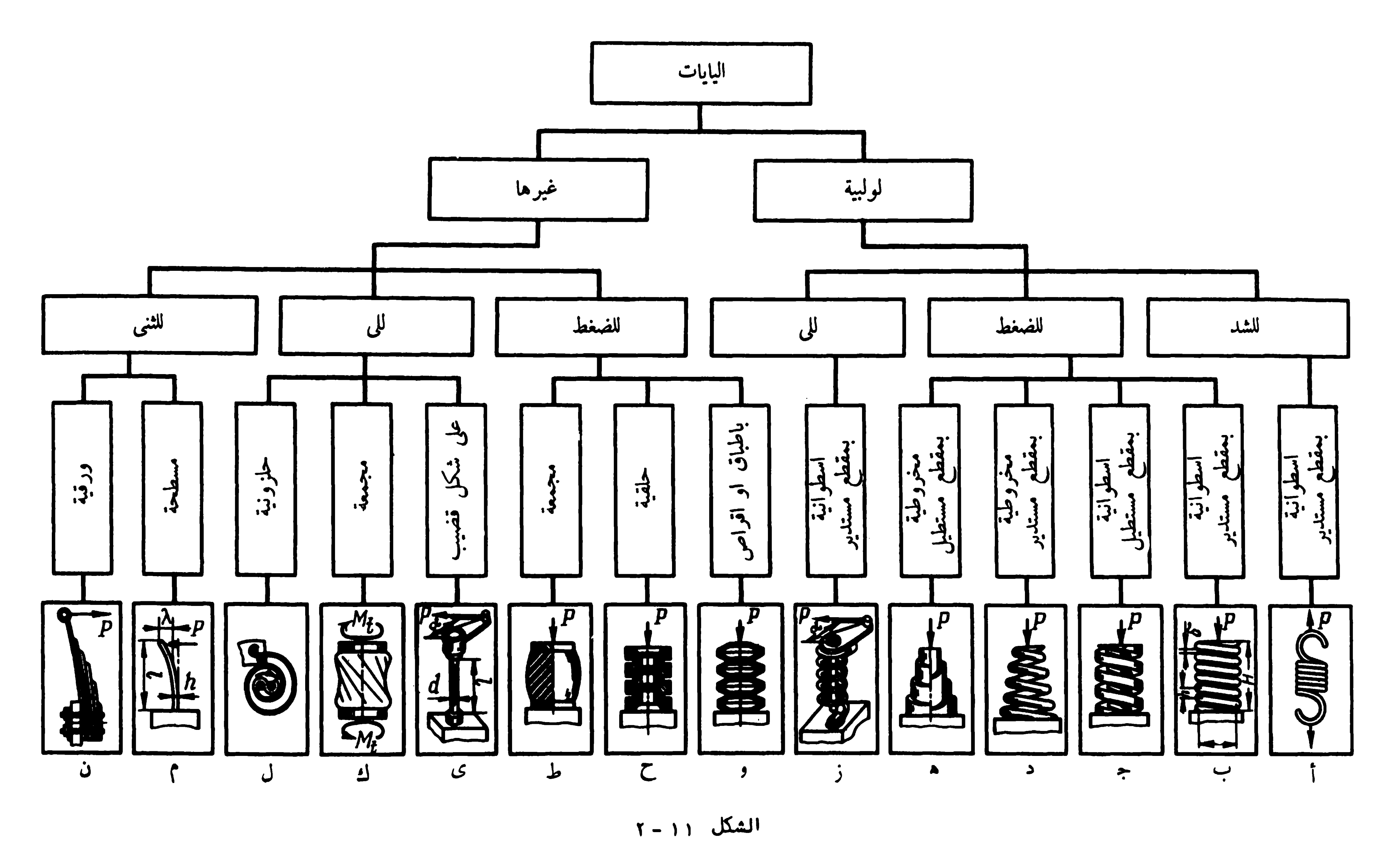
الاختبار الانضغاطى . فى انتاج اليايات اللولبية بالجملة او بالدفعات الضخمة، تستخدم ماكينات تشغيل اوتوماتيكى خاصة. وفى الحالات الاخرى تلف اليايات على المخارط .

وتعتمد تكنولوجيا اللف كثيرا على معامل الياى المصنوع . فبالنسبة لليايات ذات المقطع المستدير لسلكها يكون معاملها $c=\frac{D}{d}$ ، حيث D ـ القطر المتوسط للياى ، d ـ قطر سلكه. وكلما كان معامل الياى اقل ، زادت صعوبة لفه، وفى المعتاد $c = 4 \div 12$.

واليايات الهامة تغرض لاختبار انضغاطى بهدف رفع مقدرتها على الحمل . وتنحصر هذه العملية فى تحميل الياى بالحد الاقصى حتى تتلامس حلقاته ويترك تحت هذا الحمل خلال مدة معينة (من ٦ الى ٤٨ ساعة) . واثناء هذه العملية تظهر فى الطبقات الخارجية من حلقات الياى، وهى الطبقات الاكثر تحميلا ، تظهر تشوهات متخلفة. وبعد هذه العملية تظهر فى تلك الطبقات اجهادات متخلفة معاكسة فى اشارتها لاجهادات التشغيل الناتجة من تطبيق الحمل ، والنتيجة ان اكبر الاجهادات المجمعة تقل فى قيمتها .

وتلف يايات الضغط بطريقة اللف المفتوح ، التى تضمن توفر خلوص معين بين الحلقات. ويايات الشد تلف لفا مغلقا حيث تتلاصق الحلقات فيما بينها تلاصقا تاما .

ولكى يوفر الالتصاق المحكم بين الحلقات، يشد السلك اثناء عملية اللف، معرضا اياه بذلك لتشويه الشد المرن. وعندما يرفع الياى الجاهز من قضيب اللف، يحدث تدفق مرن فى المادة ويزيد قطر الياى ، وتضغط حلقاته على بعضها البعض بدرجة ان الياى يكتسب احكاما ابتدائيا . والنتيجة هى زيادة مقدرته على الحمل .



الشكل ١١ - ٢

27 Зак. 3819

التصميم . تزود اليايات اللولبية الشادة ، بغرض توصيلها بالاجـــزاء الاخرى، مشابك فى اطرافها على هيئة حلقات مثنية (الشكل ١١-٢ ، أ) ، أو باطراف مخروطية انتقالية مزودة. بخطافات ، او بسدادات دوارة بـهـا خطافات، او بالواح رقيقة وما الى ذلك.

والاجهادات الاضافية الناتجة من الحلقات المثنية تقلل من متانة الياى. وجهد الشد الابتدائى P_0 نتيجة للف المغلق يقدر فى المعتاد باجزاء من الجهد الحدى P_{lim} ، الذى يسبب فى مادة الياى اجهادا يساوى حد المرونة .

وللاسترشاد تؤخذ

$$P_0 = 0.33\,P_{lim} \quad \text{عند} \quad d < 5 \text{ mm}$$

$$P_0 = 0.25\,P_{lim} \quad \text{عند} \quad d > 5 \text{ mm}$$

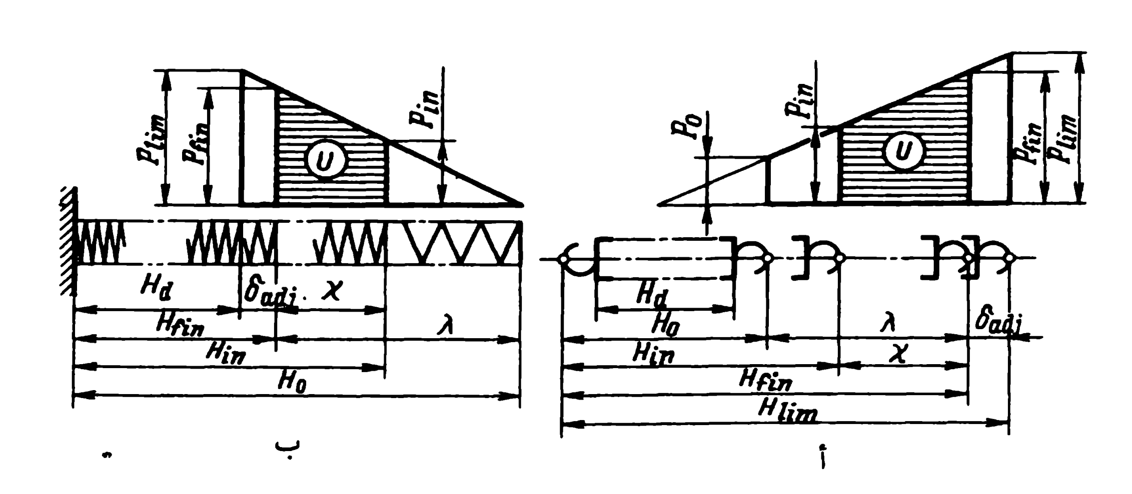
اما $P_{lim} = (1.1 - 1.2)\,P_{fin}$ ، حيث P_{fin} - اكبر حمل تشغيل مناظـر للاجهاد [τ] الذى تجرى وفقه الحسابات. اما الحمل الابتدائـــى (حمل التركيب) P_{in} ، فيتحدد حسب وظيفة الياى.

ومواصفة الياى - العلاقة البيانية بين الحمل والتشوه موضحة فى الشكل ١١ - ٣، أ ، والمساحة المهشرة هى شغل التشوه U .

وبغية ضبط الطول النهائى للياى، تختار H_{fin} اقل بـ ٥٪ - ١٠ ٪ من الطول الحدى H_{lim} . ويرمز امسار الضبط فى الشكل ١١ - ٣ بالرمـز δ_{adj} .

والتشوه الكلى للياى :

$$\lambda = H_{fin} - H_0$$



الشكل ١١ - ٣

وحيث ان الياى يركب فى الوصلة مشدودا بعض الشىء، بالطول H_{in} ، فان الشوط العامل

$$X = H_{fin} - H_{in}$$

وطول الياى غير المحمل $H_0 = H_d + (1 \div 2)D$ ، تبعا لتركيب المشابك (الطرفين) ، الذين يركب الياى بواسطتها فى الوصلة $H_d = id$ وهو الطول الذى تشغله الحلقات عندما يضغط الياى حتى النهاية (بالكامل) .

وطول السلك الذى يصنع منه الياى

$$l = \frac{\pi D i}{\cos \alpha} + l_{hook},$$

حيث l_{hook} - طول الجزء من السلك المتروك لتشكيل المشبكين .

وليس لنيابات الضغط مشابك ، ويجرى لفها بخلوص ابتدائى δ بين حلقاتها (الشكل ١١ - ٢ ، ب) .

والشكل (١١ - ٣ ، ب) يوضح توصيف ياى الضغط . وفيه P_{lim} الحمل الذى يضغط الياى حتى تتلامس حلقاته .

ولكى يحافظ على امكانية الضبط ، تؤخذ قيمة اكبر حمل P_{fin} اقل من P_{lim} بنسبة ١٠ ٪ - ١٥ ٪ .

والحمل الابتدائى (حمل التركيب) الذى يضمن تلامس محكم بين حلقتى الارتكاز وبين اجزاء الوصلة يختار فى الحدود

$$0.1 P_{fin} \leqslant P_{in} \leqslant 0.5 P_{fin}$$

وحلقتا الارتكاز (الحلقتان الميتتان) يجب أن تعالجا بدقة . بالنسبة لمستوى ارتكازهما .

والارتفاع الكلى لحلقتى الارتكاز يساوى $0.5d$ تقريبا .

وطول الياى المضغوط حتى تلامس حلقاته

$$H_d = (i' - 0.5) d ,$$

حيث i' - العدد الكامل لحلقات الياى (العاملة و " الميتة ") .

وعدد الحلقات العاملة $i = i' - 2$.

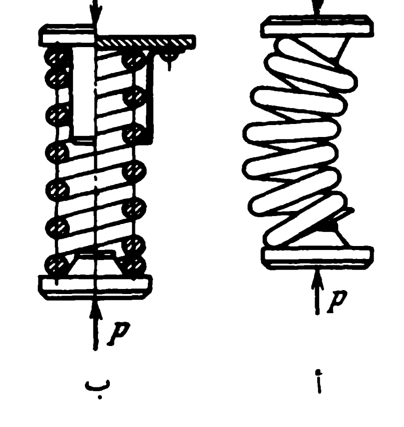
وطول الياى فى حالته الحرة (انظر الرسم ١١-٢ ، ب و ١١-٣ ، ب)

$$H_0 = H_d + i(h - d)$$

وخطوة الياى

$$h = \frac{D}{3} \div \frac{D}{2}$$

وياى الضغط الذى فيه $\frac{H_0}{D} > 3$ ، يمكن ان تنبعج اثناء التشغيل ، (الشكل ١١-٤ ، أ) ، لذلك يلزم تركيبها على قضيبين دليلين ، او تركيبها فى اوعية دليلية (الشكل ١١ - ٤ ، ب) .



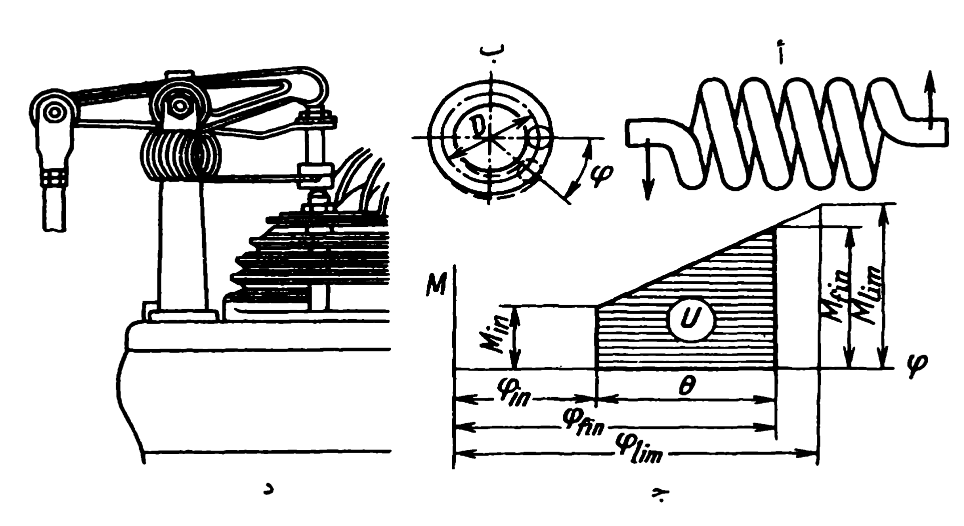
الشكل ١١ - ٤

وطول السلك اللازم لصنع ياى الضغط

$$l_0 = \frac{\pi D i'}{\cos \alpha},$$

حيث α - زاوية تقدم حلقة الياى فى حالته الحرة وتعين من $\tan \alpha = \frac{h}{\pi D}$

والنابضات القوية والجسيئة تصمم بحلقات مقطعها مربع او مستطيل (الشكل ١١ - ٢ ، جـ) .
والنابضات المخروطية يمكن ان تكون حلقاتها مستديرة المقطع (الشكل ١١-٢ ، د) ، او بمقاطع مستطيلة بالنسبة بين اضلاعها كبيرة. والاخيرة تلف من صلب الشرائح وتسمى بالنابضات التلسكوبية (الشكل ١١-٢ ، هـ). والخاصية الاساسية لهذه النابضات - الاقطار المختلفة للحلقات المتتابعة. وهذا الظرف يستجلب تشوهات مختلفة فيها : فكلما كان قطر الحلقة D اكبر، زاد تشوهه λ .
وعند قيمة معينة من قوة الضغط P ، يمكن ان تصبح الحلقة ذات القطر الاكبر مضغوطة بواسطة السطح الطرفي حيث يبطل عملها، ويعقب ذلك تدريجيا بطلان عمل الحلقات التالية للنابض كلما قلت اقطار حلقاته على التوالي. وعلى هذا الاساس يقل كل من عدد حلقات النابض i وقطره المتوسط ايضا. ويؤثر هذان الظرفان على جساءة النابض (انظر الصيغة (11.11) ،وجساءته تزيد تدريجيا اثناء عملية انضغاطه.
وتبعا للغرض من النابض يمكن اختيار شكله بحيث ان تكون مواصفاته متغيرة وفق قانون محدد سلفا.



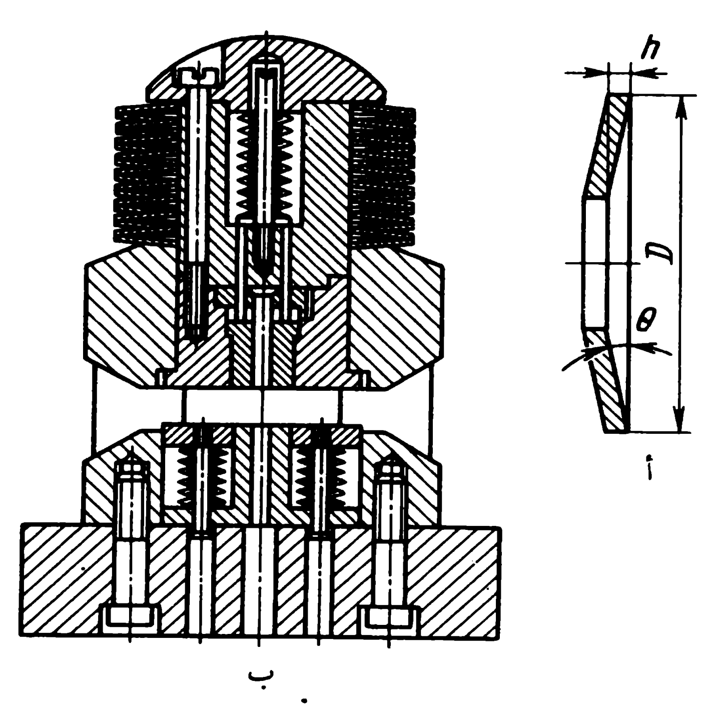
الشكل ١١ - ٥

وتتلقى نابضات اللي حمل على هيئة عزم لي Pa (الشكل ١١-٢ ، و) .
وهي تستخدم كثيرا في الماكينات الزراعية وغيرها. ويتحول الشغل المبذول في هذه النابضات الى شغل دوراني مرن في حلقات النابض حول المحور الطولي للنابض. وتلف هذه النابضات بزاوية تقدم $\alpha > 12°$ ، مع المحافظة على بعض الخلوص بين الحلقات لتجنب تلامسها عند ليها .
والشكل (١١ - ٥ ، د) يوضح نابض اللي في آلية حركة صمام محرك الطائرة.
ونابضات الاقراص (الاطباق) تتكون من مجموعة من العناصر - اقراص بسمك من ١ الى ٢٠ مم على شكل مخروط ناقص (الشكل ١١-٦ ، أ) زاويته $\theta = 2 \div 6°$.
والمواصفات القياسية تتضمن النابضات باقطار من ٢٨ ÷ ٣٠٠ مم . واكبر

حمل مسموح به اثناء تشغيلها هو ٥٢ طنا . وتشوه القرص الناتج من الحمل يجب الا يزيد عن $0.8h$. ولزيادة التشوه تجمع هذه اليايات على هيئة مجموعات، وفى هذه الحالة يكون التشوه متناسبا مع عدد اليايات فى المجموعة كلها . ويايات الاطباق تدخل فى مجموعة اليايات الجاسئة ولذلك فهى تستخدم احيانا فى التركيبات الانشائية لعزل الاهتزازات فى سقوف المنشآت الصناعية .

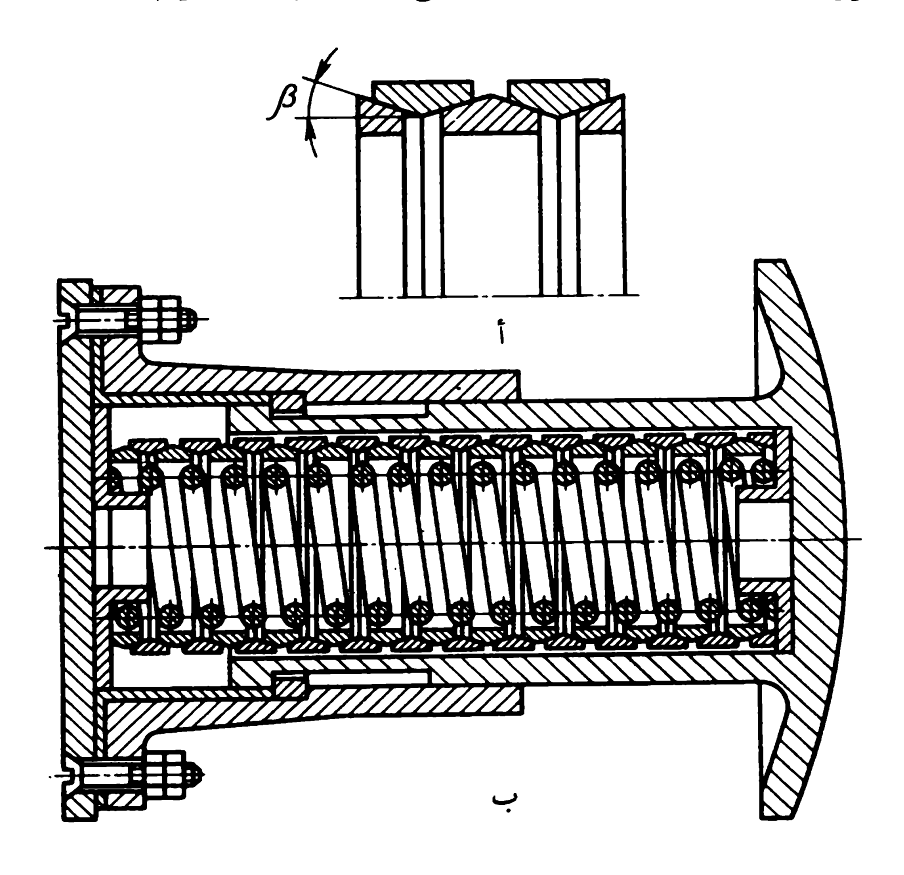
وفى الشكل (١١-٦ ، ب) يوضح صدام باليايات فى ضابعة .

اليايات الحلقية (الشكل ١١-٧ ، أ) تتكون من مجموعات من الحلقات ذات مقطع خاص. وعند تحميل الحلقات الطرفية على محيطها تضغط الحلقات الخارجية على الحلقات الداخلية وينتج عن ذلك ان تتسع الحلقات الخارجية وتنضغط الحلقات



الشكل ١١ - ٦

الداخلية وبذلك يقل الطول الكلى للياى. وبعد ازالة الحمل الخارجى تعيد قوى المرونة الداخلية الحلقات الى وضعها الاول من جديد . ويكون

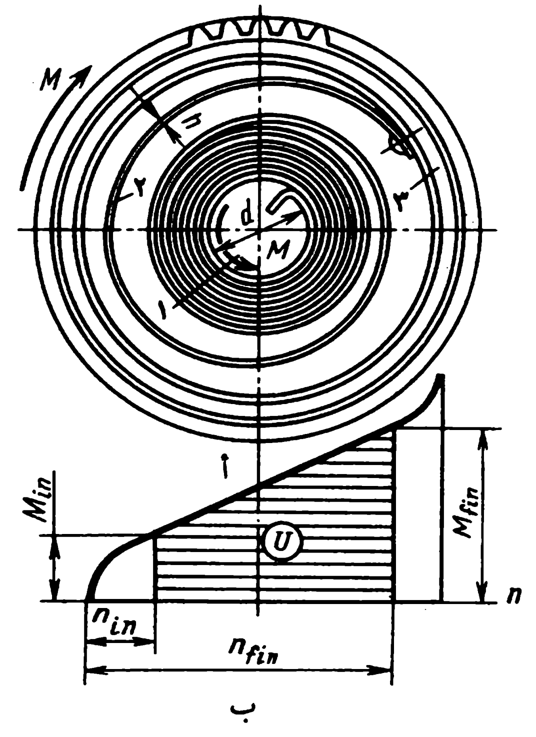


الشكل ١١ - ٧

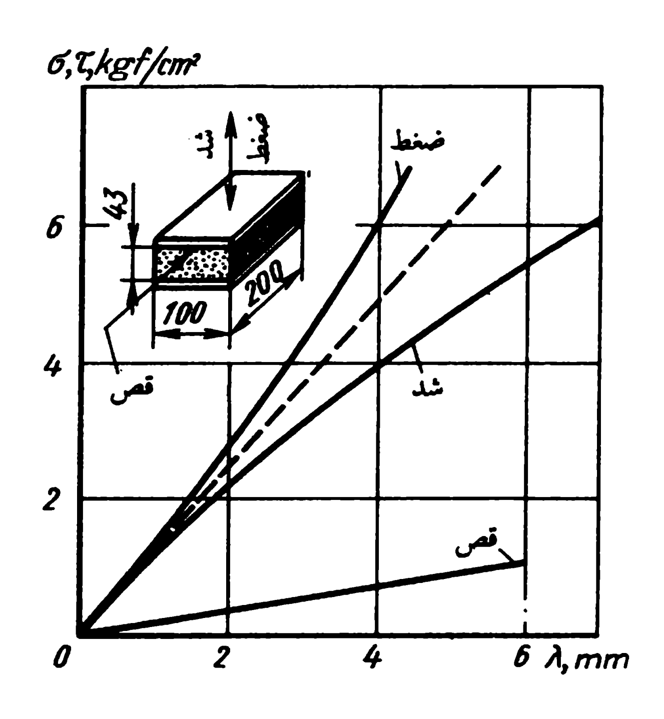
هذا ممكنا بسبب ان زاوية الميل β (الشكل ١١-٧، أ) اكبر من زاوية الاحتكاك ρ بين اسطح الحلقات.

ويشكل شغل الاحتكاك عند ازالة الحمل عن اليايات الحلقية ثلثى كل الشغل الذى يبذل فيها عند تحميلها. وهذا يعنى ان اليايات الحلقية تتمتع بمقدرة عالية على تخفيف (اخماد) الصدمات والدفعات. ولهذا السبب تستخدم فى مخمدات (مخففات) الصدمات فى الاجهزة عالية التحميل. ولكن بسبب تكلفتها الباهظة نسبيا فان استخداماتها محدودة.

وفى الشكل (١١ - ٧، ب)، موضح تركيب صدام عربة سكك حديدية مزود بيايين حلقى ولولبى.



الشكل ١١ - ٩



الشكل ١١ - ٨

واليايات المجمعة المعرضة للضغط او اللى ذات العناصر المرنة المطاطية (الشكل ١١ - ٢، ط، ك) يزيد اكثر فاكثر انتشارها فى مختلف وصلات الماكينات. وهى تستخدم بالدرجة الرئيسية كمخمدات لتخفيف شدة الصدمات وتقليل الاهتزازات.

ويتمتع المطاط عند تعرضه للضغط جساءة قصوى (الشكل ١١ - ٨).

وينتقل عزم اللى من خلال وردات من الصلب ملصوقة فى قاعدة الاسطوانة.

واليايات القضيبية هى عبارة عن قضبان مرنة محملة بعزم لى (انظر الشكل ١١ - ٢، ى) وهى تسمى ايضا بمخمدات اللى وتستخدم كيايات لسيارات النقل.

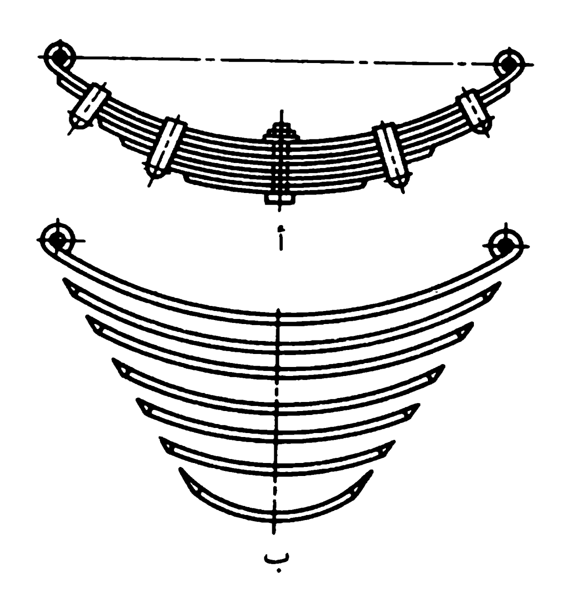
واليايات الحلزونية (الزنبركية)، تحمل بعزم لى وتستخدم بتوسع كزنبركات حركة فى الساعات، واجهزة القياس، واسلحة الرماية الخ.

ويحمل الزنبرك بواسطة عدة لفات من العمود ١ (الشكل ١١ - ٩، أ)،

الذى يثبت عليه احد طرفى الزنبرك ٢ تثبيتا جاسئا. واثناء التشغيل ينفرد الزنبرك بالتدريج مسببا دوران الاسطوانة (العلبة) ٣، التى يثبت فيها الطرف الثانى من الزنبرك.

واليايات الحلزونية تحتاج لتركيبها فى مواصفها الى تحميلها بعزم ابتدائى M_{in} (الشكل ١١-٩، ب). واذا ما اعتبرنا انه يناظر هذا العزم عدد n_{in} من اللفات الابتدائية لعمود ملء الزنبرك فان الطاقة الكاملة التى يختزنها الزنبرك

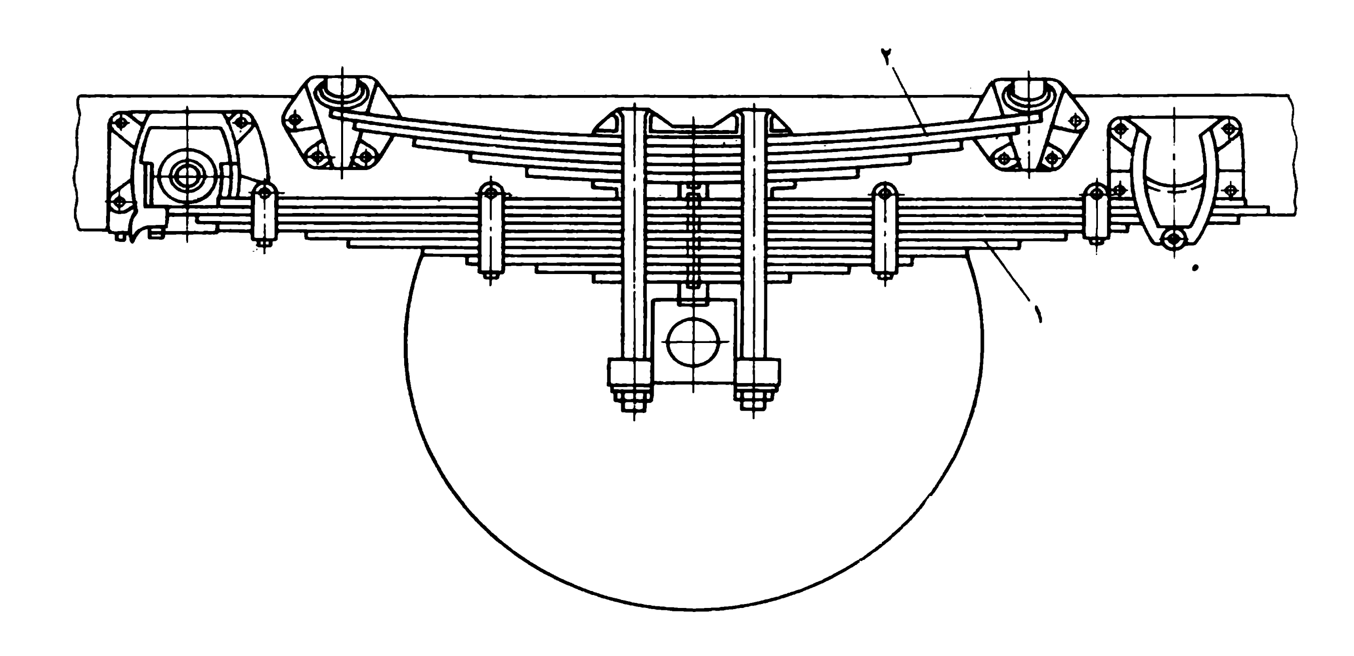
$$U = \frac{M_{fin} - M_{in}}{4\pi} (n_{fin} - n_{in})$$



الشكل ١١-١٠

واليايات المسطحة تستخدم بتوسع فى أجهزة القياس وفى الماكينات الزراعية وغيرها من الماكينات. وهى فى المعتاد تعمل تحت ظروف تؤثر فيها الجهود فى حدود ازاحات غير كبيرة. وهى ترتكز بطرفيها وتتلقى الحمل فى منتصفها، أو تثبت من طرف واحد وتتلقى الحمل من الطرف الاخر (انظر الشكل ١١-٢،م).

واليايات الورقية هى عبارة عن عتبات المقاومة المتساوية للثنى مجمعة من شرائح من الصلب (الشكل ١١-١٠،أ). وبهدف تقليل الاجهادات فى الشرائح تعطى الاخيرة شكلا منحنيا (الشكل ١١-١٠، ب) بحيث يتعرض الياى بعد تجميعه الى تشويه ابتدائى يعاكس فى اتجاهه التشويه الذى تحدثه القوى المؤثرة على الياى الورقى اثناء تشغيل الماكينة.



الشكل ١١-١١

وتستخدم اليايات الورقية فى الاساس فى تركيبات مخمدات سيارات النقل وكذلك فى بعض تركيبات معدات الحدادة.

وحصلت على الانتشار الاوسع اليايات الورقية ذات الانواع الثلاثة الرئيسية التالية : يايات الارباع، ويايات الكابولى ، ويايات على شكل القطع الناقص (شبه البيضاوية) (انظر الجدول ١١ - ١). ويصل الانحناء فى هذه اليايات حتى ٣٠٠ مم.

وبالاضافة الى اليايات ذات الجساءة الثابتة المذكورة، توجد ايضا يايات ورقية فى تركيبات تعتبر جساءة ياياتها كمية متغيرة. فمثلا فى اليايات الورقية المزدوجة (الشكل ١١ - ١١) ،عند وجود الاحمال الصغيرة، نجد ان الياى الكبير ١ هو وحده الذى يعمل ، وعند زيادة الحمل يزيد تشويه الياى الكبير (الرئيسى) بدرجة ان يبدأ الياى الصغير ٢ فى التأثير . وهذه التركيبة تتيح الفرصة لحساب الياى الرئيسى لاعلى الحمل الكامل ، بل على حمل جزئى . ونتيجة لذلك قد تكون جساءته اقل ، وهو ما يعنى على سبيل المثال لسيارات النقل سيرا برفق للسيارة بدون حمل .

الحساب

يايات الشد . يتخلص حساب اليايات من هذا النوع فى تحديد قطر السلك (d) ، وقطر الياى (D) ، وعدد الحلقات العاملة (i)، وكذلك رسم مواصفة سلوك الياى - وهى العلاقة البيانية بين الحمل والتشويه .

ومن منهج مقاومة المواد نعرف انه تحت تأثير القوة P المسلطة على طول محور الياى اللولبى (المعرض للشد او للضغط) ، تظهر فى الطبقات السطحية لحلقة الياى اجهادات مماسية قصوى

$$\tau = \tau_s + \tau_t = \left(\frac{P}{S} + \frac{PD}{2W_t} \right) \cos\alpha, \quad (11.1)$$

حيث τ_s ، τ_t - اجهادا قوة القص، وعزم اللى $P\frac{D}{2}$ على التوالى .

S - مساحة مقطع سلك الحلقة ؛

W_t - عزم مقاومة مقطع الحلقة للى ؛

α - زاوية ميل الحلقة وهى تساوى ٦ - ٥١° فى المعتاد .

وبالنسبة لليايات التى يكون لحلقاتها مقطع دائرى فى حالة $\cos\alpha \approx 1$:

$$\tau = \tau_s + \tau_t = \frac{4P}{\pi d^2} (1 + 2c)$$

ومن الصيغة نستنتج انه بالنسبة للقيم المستخدمة فى المعتاد لمعامل الياى تكون $2c = 8 \div 24$. والاجهادات المماسية من القص τ_s تقل بنفس النسبة عن الاجهادات القصوى المماسية من اللى τ_t .

وبفرض تبسيط الحساب فان التأثير الضئيل لاجهاد القص τ_s ، وزاوية التقدم α وتحدب الحلقة تؤخذ جميعها فى الاعتبار بواسطة المعامل

$k > 1$ ، المحسوب بالصيفة التجريبية تبعا لقيمة معامل الياى

$$k \approx \frac{4c + 2}{4c - 3} . \tag{11.2}$$

وبأخذ المعامل k فى الاعتبار نحصل من المعادلة (11.1) على

$$\tau = \frac{PDk}{2W_t} \leqslant [\tau] \tag{11.3}$$

وبالنسبة للحلقة ذات المقطع الدائرى

$$\tau = \frac{8PDk}{\pi d^3} \leqslant [\tau] \tag{11.4}$$

ومن هنا يمكن حساب القطر الضرورى للسلك

$$d = 1.6 \sqrt{\frac{Pck}{[\tau]}} \quad \text{cm.} \tag{11.5}$$

وهنا $[\tau] = (2 \div 10) \times 10^3 \text{ kgf/cm}^2$ ـ وهو الاجهاد المسموح به فى حالة اللى ، وترد قيمه لمختلف المواد فى جداول المواصفات.

وتشوه الياى الذى تحدثه قوة القص P وعزم اللى $P\frac{D}{2}$

$$\lambda = \left(\frac{P}{S} + \frac{PD^2}{4J_t}\right) \frac{l\cos^2\alpha}{G} , \tag{11.6}$$

حيث l ـ الطول العامل للسلك المصنوع منه اللولب (سواء اكان سلكا او قضيبا)؛

G ـ معامل الازاحة فى القص ؛

J_t ـ عزم القصور الذاتى القطبى لمقطع السلك.

واذا ما كان التشويه يحدث فى حدود من λ_1 الى λ_2 تحت تأثير القوة المتغيرة من P_1 الى P_2 فان الشغل المبذول

$$U = (P_2 - P_1) \frac{\lambda_2 - \lambda_1}{2} \tag{11.7}$$

والياى ذى الحلقات المستديرة المقطع تأخذ الصيغة (11.6) الشكل التالى

$$\lambda = \frac{4P}{\pi d^2} (1 + 2c^2) \frac{l\cos^2\alpha}{G} \tag{11.8}$$

والعنصر الثانى من الصيغة الموجود داخل القوسين اكبر بكثير من العنصر الاول حيث ان $c \geqslant 4$ ،لذلك يمكن اهمال تشوه الياى الناتج من قوة القص. واذا اخذنا علاوة على ذلك فى الاعتبار ان $\cos\alpha$ قريبة من الواحد الصحيح ، وان طول السلك العامل $l = \pi Di$ ، حيث i ـ عدد الحلقات العاملة، فانه من المعادلة (11.8) ، بالنسبة للياى المصنوع من الصلب حيث $G = 8 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$ نحصل على :

$$i = 10^5 \frac{\lambda}{P} \frac{d}{c^3} , \tag{11.9}$$

حيث λ ـ تشوه اليای ، سم ؛
P ـ جهد اليای ، كجم ؛
d ـ قطر السلك (او القضيب) ، سم .
وبأخذ الافتراضات الواردة اعلاه فی الاعتبار، فان الصيغة (11.6) لليای ذی المقطع الاختياری لسلكه، والمصنوع من اية مادة، تأخذ الشكل

$$i = \frac{4}{\pi} \cdot \frac{\lambda}{P} \cdot \frac{GJ_t}{D^3} \tag{11.10}$$

والمقدار

$$Z = \frac{4GJ_t}{\pi D^3 i} \text{ kgf/cm} \tag{11.11}$$

يسمى جساءة اليای .
وبحل المعادلتين (11.4) ، (11.10) سويا بالنسبة لليای ذی المقطع الدائری لسلكه والمصنوع من صلب من نوع معلوم مع التحديد المسبق لكل من D و d ، والتشويه λ نحصل علی :

$$i = 2.54 \times 10^5 \frac{d}{D^2} \cdot \frac{\lambda}{[\tau]} \tag{11.12}$$

ياياتـ الضغط. تعتبر مسائل الحساب العملی لليايات اللولبية المعرضة للضغط هی نفس المسائل بالنسبة ليايات الشد وتحل بنفس الصيغ الحسابية.
يايات اللی . للحصول علی العلاقات الحسابية فان تأثير العوامل الاضافية المرتبطة بزاوية التقدم وبتحدب الحلقات، يؤخذ فی الاعتبار بواسطة المعامل k_0 المماثل لما اخذنا به فی حالة يايات الشد والضغط.
ولليايات ذات المقطع الدائری

$$k_0 = \frac{4c-1}{4c-4}$$

وبتحليل عمل يای اللی ، ليس من الصعب استنتاج ان عزم التحميل Pa (الشكل ١١ - ٢ ،و) يحدث ثنيا خالصا فی الحلقة. وبأخذ المعامل k_0 بالاعتبار، فان اقصی الاجهادات فی المقطع تحدد من الصيغة

$$\sigma_{max} = \frac{Mk_0}{W} \leqslant [\sigma], \tag{11.13}$$

حيث W ـ عزم مقاومة المقطع للثنی .
وقطر السلك (القضيب)

$$d = 2.15 \sqrt[3]{\frac{Mk_0}{[\sigma]_{bend}}} \text{ cm}, \tag{11.14}$$

حيث $[\sigma]_{bend} = (1.25 \div 1.5)[\tau]$ ـ الاجهاد المسموح به فی الثنی لمادة الحلقة، كجم/سم٢ ؛
M ـ عزم التحميل ، كجم/ سم .
وتشوه يای اللی (الشكل ١١ - ٥ ، أ) يحدد بالزاوية φ (الشكل ١١

ه ، ب ، جـ) بين الحلقتين الطرفيتين ، تلك الزاوية التى كما يوضح منهج مقاومة المواد ، يمكن الحصول عليها من الصيغة :

$$\varphi = \frac{Ml}{EJ} \text{ radians} \qquad (11.15)$$

حيث E - معامل المرونة فى حالة الشد والضغط ؛
J - عزم القصور الذاتى للمقطع المعرض للثنى ؛
l - طول سلك الياى (سلك او قضيب) .

وحيث ان $l = \pi Di$ (اعتبارا لان $\cos \alpha \approx 1$) ، فمع اخذ $E = 2.2 \times 10^6$ بالكجم/سم٢ بالنسبة لسلك الصلب نجد للياى ذى الحلقات المستديرة المتطع

$$i = 0.32 \times 10^5 \frac{\varphi}{M} \cdot \frac{d^4}{D}, \qquad (11.16)$$

حيث φ - زاوية اللى بالتقدير الدائرى ؛
M - العزم المؤثر على الياى ، كجم سم ؛
d, D - القطر المتوسط للياى وقطر سلكه ، سم .

ومن المعادلتين (11.14) و (11.16) ، نحصل على الصيغة التالية لتعيين عدد الحلقات للمادة المعلومة والقيم D ، d ، φ :

$$i = 3.2 \times 10^5 \frac{k_0}{c} \frac{\varphi}{[\sigma]} \qquad (11.17)$$

ومواصفة الياى التى تعكس العلاقة بين العزم المطبق وبين التشويه موضحة فى الشكل ١١ - ٥ ، جـ .

وعزم التركيب M_{in} يناظر اللى الابتدائى بزاوية مقدارها φ_{in} ، وهو يسبب الياى اجهادا ابتدائيا ويضمن التصاقا ابتدائيا محكما بين اجزاء الوصلة ، وللتقريب

$$0.1M_{fin} \leqslant M_{in} \leqslant 0.5M_{fin}$$

<u>اليايات المجمعة.</u> الاجهاد الذى يظهر من تأثير القوة P (الشكل ١١ - ٥ ، ط) ،

$$\sigma = \frac{P}{F} \leqslant [\sigma]_{com},$$

اما التشويه

$$\lambda = \frac{Ph}{EF} = \frac{h[\sigma]_{com}}{E} \text{ cm}, \qquad (11.18)$$

حيث $[\sigma]_{com} = 10 \div 50$ kgf/cm² - الاجهاد المسموح به فى الضغط وهو يعتمد على نوعية المطاط وطابع الحمل ،
h - ارتفاع الكتلة ، سم ،
$E = 18 \div 100$ kgf/cm² - معامل المرونة الطولى للمطاط .

<u>اليايات القضيبية</u> . الاجهاد الناتج فى الياى تحت تأثير عزم اللى $Pa = M_t$ (الشكل ١١ - ٢ ، ى)

$$\tau = \frac{16 M_t}{\pi d^3} \leqslant [\tau]$$

وزاوية التواء القضيب

$$\varphi = \frac{32 M_t l}{\pi d^4 G} \text{ radians}$$

حيث l - الطول العامل للقضيب ، سم ؛
d - قطر القضيب ، سم ؛
G - معامل المرونة فى القص ، كجم/سم٢ .

وبحل المتساويتين الاخيرتين سويا ،بالتعويض عن G بالقيمة ٨×١٠^٥ كجم/سم٢ ، نحصل على صيغة لتحديد قطر قضيب الصلب

$$d = 2.5 \times 10^{-7} \frac{l}{\varphi} [\tau] \text{ cm} \tag{11.19}$$

<u>اليايات الحلزونية</u> . مع التثبيت الجاسئ لطرفى الياى، ينتج العزم المطبق M ثنيا خالصا فى الياى، والعرض b يعين بالصيغة

$$b = \frac{6M}{h^2 [\sigma]_{bend}}, \tag{11.20}$$

حيث M -عزم التحميل كجم سم ؛
$[\sigma]_{bend}$ - الاجهاد المسموح به فى الثنى لمادة الياى، كجم/سم٢ ؛
h - سمك الياى (الشريط بالسم، وهو يساوى فى المعتاد (٠٣ر٠ ÷ ٠٤ر٠) d ، حيث d هنا هى قطر العمود (انظر شكل ١١ - ٩ ، أ) .

ويحسب التشويه من الصيغة (11.15) الخاصة باليايات الاسطوانية اللولبية المعرضة للى . وبالتعويض فى هذه الصيغة عن القيمة المناسبة لـ J ، وباعتبار $E = 2.2 \times 10^6$ kgf/cm² للشريط الفولاذى، وكذلك مع الاخذ فى الاعتبار لانه عند تدوير الاسطوانة بعدد n من اللفات تكون زاوية الالتواء $\varphi = 2\pi n$ نحصل على :

$$l = 10.5 \times 10^5 \frac{n}{M} bh^3 \text{ cm}$$

واذا ما عوضنا عن b بقيمتها من المعادلة (10.20) ، نحصل على

$$l = 63 \times 10^5 \frac{nh}{[\sigma]_{bend}} \text{ cm} \tag{11.21}$$

وفى حالة التثبيت المفصلى لطرفى الياى يتغير الحساب بعض الشئ .

<u>اليايات المسطحة</u>. الاجهاد والانحناء فى ياى الكابولى المثبت من طرف واحد (الشكل ١١ - ٢ ، م) يحددان من الصيغتين

$$\sigma_{bend} = \frac{M}{W} \leqslant [\sigma]_{bend};$$

$$\lambda = \frac{Pl^3}{3EJ} = \frac{2Ml^2}{3EWh},$$

حيث $M = Pl$ - عزم الثنى ؛

W - عزم مقاومة المقطع للثنى .

وبحل حدين المتساويتين سويا مع $E = 2.2 \times 10^6$ kgf/cm², نحصل على سمك الياى الفولاذى (h) حسب القيم l ، λ ، $[\sigma]_b$ المعلومة

$$h = 33 \cdot 10^{-8} \frac{l^2}{\lambda} [\sigma]_{bend} \text{ cm} \tag{11.22}$$

وعرض الياى :

$$b = \frac{6M}{h^2 [\sigma]_{bend}} \text{ cm} \tag{11.23}$$

<u>الیایات الورقية</u> . ترتبط الظروف الخاصة لعمل اليايات الورقية (leaf springs) بالاطوال غير المتساوية لشرائح الياى الواحد ووجود احتكاك بينها اثناء ثنيها ، والاحتكاك يدخل فى صيغة حساب كمية الانحناء فى الياى بواسطة المعامل $k > 1$. وتقوس الياى يهمل فى الحسابات العملية .

وفى التقريب الاول يمكن افتراض ان الجهد المؤثر على الياى موزع بين شرائحه بالتساوى ، أى ان الجهد على الشريحة الواحدة $P_1 = \frac{P}{i}$

حيث i - عدد الشرائح فى الياى .

وبالنسبة لليايات الربعية (الجدول (١١ - ١) ، المثبتة على هيئة كابولى يكون الجهد فى الشريحة وانحناءها على التوالى :

$$\sigma = \frac{M}{iW} = \frac{6Pl}{ibh^2} \leqslant [\sigma]_{bend}; \tag{11.24}$$

$$\lambda = \frac{kPl^3}{3EJi} = \frac{4kPl^3}{Eibh^3} \tag{11.25}$$

ومن الصيغتين (11.24) ، (11.25) ، اذا عوض عن E بقيمتها ٢ × ١٠^٦ كجم/سم^٢ نحصل على

$$h = \frac{1}{3} 10^{-6} kl^2 \frac{[\sigma]_{bend}}{\lambda} \text{ cm} \tag{11.26}$$

ولنفس هذا الياى ، من الصيغة (11.24)

$$ib = \frac{6Pl}{h^2 [\sigma]_{bend}} \tag{11.27}$$

فى الصيغ (11.24) - (11.27) ، P - الحمل المطبق على طرف الياى ، l - طول الياى ، i - عدد شرائحه ، b ، h - هما على التوالى عرض وسمك الشريحة الواحدة ، ويتضمن الجدول (١١ - ١) الصيغ المستنتجة الطريقة لتحديد σ ، λ ، h ، ib فى يايات الكابولى واليايات شبه البيضاوية .

الجدول ١١ - ١

صيغ حساب اليايات الورقية من الانواع الاساسية

الياى	الرسم التخطيطى	الرسم الحسابى	الاجهاد σ_{bend} kgf/cm²	الانحناء λ cm	سمك الشريحة h cm	المتغير ib cm
ربعى			$\sigma_{bend} = \dfrac{6Pl}{ibh^2}$	$\lambda = \dfrac{4kPl^3}{Eibh^3}$	$h = \dfrac{1}{3} + 10^{-6} kl^2 \dfrac{[\sigma]_{bend}}{\lambda}$	$ib = \dfrac{6Pl}{h^2 [\sigma]_{bend}}$
كابولى			$\sigma_{bend} = \dfrac{3Pl}{ibh^2}$	$\lambda = \dfrac{kPl^3}{Eibh^3}$	$h = \dfrac{1}{6} \times 10^{-6} kl^2 \dfrac{[\sigma]_{bend}}{\lambda}$	$ib = \dfrac{3Pl}{h^2 [\sigma]_{bend}}$
بيضاوى			$\sigma_{bend} = \dfrac{3Pl}{2ibh^2}$	$\lambda = \dfrac{kPl^3}{4Eibh^3}$	$h = \dfrac{1}{12} \times 10^{-6} kl^2 \dfrac{[\sigma]_{bend}}{\lambda}$	$ib = \dfrac{3Pl}{2h^2 [\sigma]_{bend}}$

ملاحظات : ١ - في الصيغ الواردة، الحمل P بالكجم، والاجهاد المسموح $[\sigma]_{bend} = 4500 - 6000$ kgf/cm² ، يختار تبعا من ظروف عمل الياى، وباقى الابعاد بالسنتيمترات.

٢ - المعامل $k = 1.25 - 1.50$ ،كلما كان الياى اقرب الى العتبة المتساوية المقاومة فى الثنى ،يكون المعامل k اكبر.

٣ - الصيغ الخاصة بيايات الكابولى واليايات شبه البيضاوية مأخوذة لحالة $l_1 = l_2 = 0.5l$.

ومن مقارنة الصيغ الواردة فى هذا الجدول ، نجد ان اكبر مطيلية تكون للبايات الربعية. فمع تساوى باقى الشروط يكون الانحناء فى اليايات الربعية ويايات الكابولى واليايات شبه البيضاوية بالنسب التالية على التوالى ١٦ : ٤ : ١ .

نظام حساب يايات الشد (الضغط) الاسطوانية اللولبية . المعطيات الاولية : اكبر حمل تشغيل P_{fin} ، الحمل الابتدائى (حمل التركيب) P_{in} ، مشوار (شوط) التشغيل X .

١ - نختار نوع الصلب، والاجهاد المسموح به [τ] حسب جداول المواصفات .

٢ - باختيار معامل الياى c ، نستنتج معامل التصحيح k - الصيغة (11.2) .

٣ - من الصيغة (11.5) نعين قطر السلك d ونقرب هذه القيمة الى انسب قطر مناظر في مواصفات السلك .

٤ - من c ، d نحصل على قطر الياى .

٥ - نعين P_0 ، P_{lim} من التناسبات الواردة فى ص ١٦٩ .

٦ - نحسب التشوه الكلى فى الياى

$$\lambda = X \frac{P_{fin} - P_0}{P_{fin} - P_{in}}$$

٧ - نستنتج عدد حلقات الياى من الصيغة (11.9) باعتبار $P = P_{fin} - P_{in}$.

٨ - من النسب الواردة فى ص ١٧٠ ، نحصل على H_d وهو طول الياى بين حلقتين الطرفيتين ، H_0 - هو الطول الكلى للياى بدون حمل .

٩ - نرسم الرسم البيانى بمواصفات الياى (الشكل ١١ - ٣ ، أ) .

الفصل الثالث

وسائل نقل الحركة

الباب الثانى عشر

أنواع وسائل نقل الحركة ومواصفاتها الاساسية

تسمى الآليات التي تنقل الطاقة من المحرك الى اعضاء الماكينة العاملة بالوسائل الميكانيكية لنقل الحركة * . ويكون هذا كقاعدة مصحوبا بتغيير السرعة والقوى والعزوم، واحيانا بتغيير طابع وقانون الحركة .

وادخال وسائل نقل الحركة بين المحركات والاعضاء العاملة فى الماكينة مشروط بعدة اسباب :

أ - غالبا ما تختلف السرعات المطلوبة لحركة الاعضاء العاملة فى الماكينة عن سرعات المحركات القياسية ؛

ب - قد يكون من اللازم تغيير سرعة العضو العامل (أو تنظيمها) . واجراء مثل هذا التغيير بواسطة المحرك مباشرة غير اقتصادى بل وقد يكون مستحيلا ؛

جـ - يتطلب الامر فى بعض فترات تشغيل الماكينة لتليينها عزوم لى تزيد عن عزم اللى (او عزوم اللى) على محور المحرك ؛

د - ليس من النادر ان يقوم محرك واحد بنقل الحركة الى عدة آليات تكون سرعاتها مختلفة ؛

هـ - تخصص المحركات القياسية فى العادة للدوران المنتظم بينما الاعضاء العاملة فى الماكينة غالبا ما يكون عليها ان تتحرك حركة خطية بسرعة متغيرة أو ان تتوقف بصورة دورية ؛

و - فى بعض الحالات يستحيل تنفيذ التوصيل المباشر بين محورى المحرك وآلية التشغيل من وجهة نظر الامان، أو تسهيل الخدمة، أو من وجهة نظر حجم الماكينة.

وحتى وقت غير بعيد كانت الوسائل الميكانيكية لنقل الحركة هى الاجهزة الوحيدة تقريبا المستخدمة فى الماكينات لكل الحالات المذكورة. اما فى بناء الماكينات الحديثة فتستخدم بتوسع علاوة على الوسائل الميكانيكية لنقل الحركة، الوسائل الكهربية والايدرولية، والهوائية (بخلخلة وضغط الهواء) كوسائل لنقل الحركة . وفى الكثير من الاحوال تستخدم فى آن واحد لغرض

---

* سوف نسميها فيما يلى للاختصار بوسائل نقل الحركة.

نقل الحركة فى ماكينة واحدة لمختلف آلياتها وسائل نقل الحركة الميكانيكية وغيرها من الوسائل .

ومميزات هذه الوسائل لنقل الحركة موضحة فى الجدول (١٢-١) ، الذى يمكن ان يقوم بوظيفة ارشادية فقط.

الجدول ١٢ - ١

مميزات وسائل نقل الحركة من انواع المختلفة

المميزات	مصدر الحركة			الوسيلة الميكانيكية لنقل الحركة	
	كهربى	ايدرولى	هوائى	بالاحتكاك	بالتعشيق
المصدر المركزى للتزويد بالطاقة	+		+		
بساطة نقل الطاقة الى مسافات كبيرة	+				
سهولة تحقيق تراكم الطاقة.			+		
التنظيم المرحلى (التدريجى) للسرعة فى حدود واسعة...	+			+	+
التنظيم اللانهائي للسرعة فى حدود واسعة	+	+		+	
المحافظة الدقيقة على نسبة نقل السرعة					+
سرعات الدوران العالية..	+		+		
بساطة الآلية التنفيذية للحركة على خط مستقيم		+	+	+	+
استقلال العمل عن درجة الحرارة فى الوسط المحيط..	+		+		+
الضغوط الكبيرة نسبيا على الاعضاء العاملة.....		+			+
سهولة تحقيق التحكم فى الادارة بما فى ذلك التحكم الآلى والتحكم عن بعد...	+				

والاختيار الصحيح لوسيلة نقل الحركة للحالة المحددة يمكن ان يجرى فقط نتيجة للمقارنة الفنية الاقتصادية بين مختلف الحلول .

والمنهج العام " لاجزاء الماكينات " يتناول الوسائل الميكانيكية لنقل الحركة الدورانية المنتظمة. والوسائل الميكانيكية لنقل الحركة من الانواع الاخرى تدرس فى مناهج خاصة بحساب وتصميم الماكينات التى تستخدم فيها بتوسع (" نقل الحركة كهربيا"، و" نقل الحركة ايدروليا " ... الخ) .

انواع وسائل نقل الحركة

تنقسم وسائل نقل الحركة تبعا لوسيلة انتقالها من العنصر القائد الى العنصر المنقاد كالتالى :

١ - نقل الحركة بالاحتكاك بالتلامس المباشر (الوسائل الاحتكاكية) او بالرابط المرن (كالسيور) ؛

٢ - نقل الحركة بالتعشيق بالتلامس المباشر (التروس والدودات) او بالرابط المرن (بالسلاسل والجنازير او السيور المسننة).

ووسائل نقل الحركة بالاحتكاك وبالتعشيق تختلف حسب وضع عمودى الحركة (العمودان متوازيان ، أو متقاطعان ، أو محوراهما متخالفان)، كما تختلف حسب طابع تغير نسبة نقل السرعة (النسبة الثابتة، أو تتغير على درجات أو تتغير بسلاسة، اى بدون درجات).

وتوقف طريقة نقل الحركة بالاحتكاك او بالتعشيق على شكل اسطح التشغيل والخواص المميزة لوسائل نقل الحركة.

ففى وسائل نقل الحركة بالاحتكاك تكون مقاطع اسطح التشغيل المتعامدة على محور الدوران عبارة عن اسطح دائرية.. وتصنيع هذه الاسطح لا يشكل صعوبة خاصة حتى مع الدقة العالية. وتزود الاجزاء فى وسائل نقل الحركة بالتعشيق، باسنان تحقق نقل عزم اللى من العجلة القائدة الى المنقادة. واثناء العمل تخرج بعض الاسنان من التعشيق بينما تدخل اخرى فيه. ووجود عدم دقة حتى ولو كان صغيرا فى شكل الاسنان، وحدوث تشوهات فى العناصر الناقلة للحركة يؤديان الى التسارع مما يسبب ضوضاء وتآكل الاسنان. وهذه هى العيوب المبدئية لوسائل نقل الحركة بالتعشيق . ورفع درجة دقة تصنيع العجلات المسننة وباستخدام اسنان ذات شكل خاص، يؤديان الى تخفيف هذه العيوب، ولكن يستحيل استبعادها بالكامل. ولهذا السبب تنقل الحركة فى المعتاد الى عمود التشغيل فى ماكينات التشطيب الدقيق للاسطح، على سبيل المثال ، لا بواسطة التعشيق، بل بالاحتكاك - بمساعدة نقل الحركة بالسيور.

وفى وسائل نقل الحركة بالاحتكاك، يمكن ان يكون الانتقال من قطر تماس الى قطر تماس آخر ، انتقالا تدريجيا . كما يمكن ان يكون تدريجيا ايضا التحكم فى السرعة - اى تغيير نسبة نقل السرعة.

اما فى وسائل نقل الحركة بالتعشيق فلا يمكن التوصل الى هذا الا بوسائل اصطناعية معقدة * .

---

* تستخدم عمليا طريقة واحدة لنقل الحركة بالتعشيق مع التنظيم (الضبط) التدريجى - بواسطة السلاسل (انظر ص ٣٨٦).

وسائل نقل الحركة ذات نسبة نقل السرعة الثابتة

يجب ان تتضمن مسألة تصميم وسيلة نقل الحركة ذات نسبة السرعات الثابتة، المعطيات التالية: القدرة المنقولة N ،او عزم اللى M_t على العمود المنقاد ، سرعتا الدوران (لفة/الدقيقة) للعمود المنقاد n_2 ، والقائد n_1 ، وضعا العمودين بالنسبة لبعضهما البعض، والمسافة بين محوريهما ، احجام ونظام تشغيل وسيلة نقل الحركة $M_t = f(t)$ ، $n = F(t)$.

والحالة العامة لهذه المسألة تتمتع بعدة حلول ، أى انه يمكن تصميم وسائل نقل الحركة من انواع مختلفة تحقق الشروط المعطاة. ويجب المقارنة بين الحلول الممكنة من ناحية معامل الكفاية، والوزن ، والابعاد، والتكلفة الابتدائية ومصاريف التشغيل ، وذلك لاختيار انسبها واكثرها اقتصادا . وتسمح بعض الافكار العامة، وفى الاساس الخبرة المتراكمة من تصميم وتصنيع واستخدام الوسائل المختلفة لنقل الحركة، بتحديد مجال وحدود الاستخدام الاوفق لوسائل نقل الحركة من مختلف الانواع . ولكن هذه الحدود هى حدود وقتية حيث انه مع ظهور المواد الجديدة، ومع تحسين تكنولوجيا تصنيع الاجزاء، جنبا الى جنب مع تعميق المعارف حول جوهر العمليات الجارية فى وسائل نقل الحركة تتحسن ايضا التصميمات وتتوسع حدود ومجالات استخدامها .

نسبة نقل السرعة. يمكن التوصل الى نسبة نقل السرعة المعطاة $i = n_1 : n_2$ بمرحلة واحدة لنقل الحركة من اى طراز كان ($i = i_1$) أو على مراحل متعددة لنقل الحركة من انواع متعددة أو من نوع واحد ($i = i_1 \; i_2 \; ... \; i_p$) .

ويمكن ان تكون وسائل نقل الحركة ذات المرحلة الواحدة ونسبة السرعات الكبيرة، من وسائل نقل الحركة بالتعشيق. ونسبة نقل السرعات (i) تصل الى نهايتها الكبرى فى نقل الحركة بواسطة التروس الدودية، اما فى التروس فتتراوح بين ٤ و ٢٠ ، وفى نقل الحركة بالجنازير ذات الاسطوانات والجلب فتعتبر $i_1 \leqslant 6 \div 10$ اما بالنسبة للسلاسل ذات العجلات المسننة فتصل i حتى ١٥ . ولا يحد من نسبة نقل السرعات i فى وسائل نقل الحركة بالتعشيق الا ابعاد اجزاء نقل الحركة.

وتقيد قيمة i_1 فى وسائل نقل الحركة بالسيور بقيمة زاوية التماس بين السير والبكرة الصغرى (انظر ص ٢٣٧). واعلى قيم مسموح بها لنسب نقل الحركة عند استخدام السيور على شكل حرف (V) $i_1 \leqslant 8 \div 15$ ، وللسيور المسطحة ذات البكرة الشادة $i_1 \leqslant 10$ وبالنسبة للسيور المسطحة المفتوحة $i_1 \leqslant 5$. ولوسائل نقل الحركة بالاحتكاك تؤخذ عادة

$i_1 \leqslant 5 \div 10$. وتقابل فى الحياة العملية كثيرا نسب نقل السرعات اقل من قيم i_1 الواردة اعلاه. واذا اقتضى الامر الحصول على قيم عالية لنسب نقل السرعات، يكون من الاوفق فى العادة استعمال مراحل متعددة، علما بان احجام ووزن وسيلة نقل الحركة المتعددة المراحل تكون اقل كثيرا مما لو كانت بمرحلة واحدة.

وينطبق ما ورد اعلاه على وسائل نقل الحركة بالتخفيض (بالتباطوء) ($n_1 > n_2$). اما وسائل نقل الحركة بالتسارع (بالتعجيل) ($n_1 < n_2$)، فاسوأ فى الاستعمال من نقل الحركة بالتخفيض وخصوصا فى نقل الحركة بالتعشيق، وتكون فيها فى المعتاد (1:2) ÷ ÷ (1:1.5) = i_1 . وفى وسائل نقل الحركة المسارعة بالاحتكاك وبالسيور تتحدد قيم i بالنسبة التالية: $i_1 \approx (1:3) \div (1:5)$. ويفسر الاداء السيىء لنقل الحركة بالزيادة من ذبذبة وضجيج - بانها مع الخطأ المتساوى اثناء تصنيع العجلتين المعشقتين، فان العجلة القائدة ذات القطر الاكبر (فى نقل الحركة بالتسارع) تسبب تسارع زاوى كبير فى العجلة المنقادة الاقل قطرا، بينما يحدث العكس فى نقل الحركة بالتباطوء.

السرعة المحيطية. عند نقل طاقة معلومة N تكون القوة المحيطية $P = \frac{CN}{v}$ حيث v - السرعة المحيطية، اما C فهى مقدار ثابت. والقوة المحيطية بدورها يمكن التعبير عنها كحاصل ضرب عرض العنصر الناقل للقوة (عرض السير او الاسطوانة او العجلة .. وما الى ذلك) b ، فى الحمل النوعى p على الوحدة من عرض العنصر : $P = bp$. ومع تساوى ظروف العمل، يكون من الاوفق لتقليل ابعاد وسيلة نقل الحركة (b)، ان تنقل الطاقة باعلى سرعة محيطية مسموح بها $v = v_{max}$. وتحد من قيمة v_{max} عوامل مختلفة.

فبالنسبة لكل وسائل نقل الحركة بالربط المرن يعتبر تأثير الطرد المركزى عاملا خطيرا يتسبب فى احداث احمال اضافية على عضو الجر ويقلل من شده المفيد. وفى نقل الحركة بواسطة السيور المسطحة الاعتيادية، تكون $v_{max} \leqslant 25$ m/sec ، وبواسطة السيور الخاصة المصنوعة من الالياف الاصطناعية $v_{max} \approx 50$ m/sec . ولنقل الحركة بواسطة السيور ذات المقطع (V)، تعتبر زيادة درجة حرارة السير نتيجة للتخلفية المرنة (elastic hysteresis) لمادته عاملا اكثر اهمية. فتأثيره فى حالة وقوع عدد كبير من ثنى السير فى الثانية يكون عاليا للغاية. ويسمح فى سيور ال V القياسية بسرعات $v_{max} \approx 25; 30$ m/sec ، وبالنسبة لسيور ال V الخاصة المزودة بسلك تقوية من الصلب يسمح بسرعات تصل الى ٥٠ مترا فى الثانية. وفى نقل الحركة بواسطة شريط الصلب يمكن التوصل الى سرعات فى حدود ٨٠ مترا/ ثانية.

ويجب الا تزيد السرعة فى نقل الحركة بالجنازير عن $v_{max} = 25 \div 40$ m/sec وذلك بسبب صدمات الحلقات اثناء دخولها فى التعشيق، وبالنسبة للسيور المسننة فتصل v_{max} الى ٨٠ مترا فى الثانية.

ولكى تزاد السرعات فى نقل الحركة بالتروس، يلزم زيادة دقة تصنيع العجلات المسننة زيادة ملموسة، حيث ان الخطأ فى التعشيق يسبب احمالا اضافية. ويجب صنع التروس العدلة (spur gears) عندما تكون $v > 10$ m/sec ، والتروس الحلزونية (non spur) عندما تكون $v > 15$ m/sec ، بالدرجة السادسة من دقة التشغيل . ومع المستوى الحديث فى تكنولوجيا الانتاج تصل السرعات القصوى للعجلات المسننة الى ١٥٠ - ١٨٠ مترا فى الثانية.

وفى نقل الحركة بالدودات لا تتعدى السرعة المحيطية للدودة $v_{max} \leqslant 20$ m/sec . وتحدد هذه السرعة بمقاومة مادتى الدودة والعجلة الدودية للتآكل بالاحتكاك.

وفى المعتاد لا تتعدى السرعة فى وسائل نقل الحركة بالاحتكاك ١٥- ٢٥ مترا فى الثانية.

القدرة المنقولة : يمكن نقل اكبر القدرات بواسطة وسائل نقل القدرة بالتروس . وعلى سبيل المثال توجد مخفضات للسرعة بواسطة التروس تستخدم فى توربينات السفن بقدرة $N > 50000$ كيلووات . وفى الواقع تحد من قدرة وسائل نقل الحركة بالتروس، صعوبة نقل الاجزاء الكبيرة الحجم والدقيقة الصنع .

وفى وسائل نقل الحركة بالدودات تحد من القدرة، الكمية الكبيرة من الحرارة الناتجة وارتفاع درجة الحرارة. ولا تتعدى القدرة المنقولة بالوسائل الموجودة لنقل الحركة بالدودات ، ٢٠٠ كيلووات. وبتخفيض كمية الحرارة الناجمة عن تغيير شكل التعشيق (وخصوصا استخدام التروس الدودية شبه الكروية (globoid worms)، وبتحسين طرق التخلص من الحرارة (التبريد) ، يمكن زيادة القدرة المنقولة عند ذلك.

وفى وسائل نقل الحركة بالجنازير وبالسيور ذات المقطع (V) ، يجب زيادة مساحة المقطع وعدد الجنازير او السيور العاملة فى آن واحد . غير انه مع استخدام العدد الكبير من عناصر الجر تقل امكانية تحميلها بالتساوى ، وتصبح متابعة زيادة عدد السيور او الجنازير غير فعالة. وللسيور ذات المقطع على شكل (V) تعتبر القدرة ١٠٠٠ - ١٥٠٠ كيلووات قدرة حدية، وهناك وسائل لنقل الحركة بالسيور الجلدية المسطحة تنقل قدرة ٢٠٠٠ كيلووات، وبالجنازير حتى ٣٥٠٠ كيلووات.

ويحد ضغط التماس عادة من مقدرة اداء وسائل نقل الحركة بالاحتكاك، مثلها فى ذلك مثل وسائل نقل الحركة بالتروس، الا ان الضغط العمودى فى وسائل نقل الحركة بالتروس يكون قريبا فى قيمته من الضغط المحيطى ، مع انه فى وسائل نقل الحركة بالاحتكاك يكون اكبر بعشر مرات تقريبا (اذ انه يساوى الضغط المحيطى مقسوما على معامل الاحتكاك) . وفى الواقع فانه فى عجلات الاحتكاك يكون نصف قطر التقوس لسطحى التلامس مع تساوى الاقطار الابتدائية، أكبر عدة مرات مما هو عليه فى نقل الحركة بالتروس ، الا ان هذا لا يعوض الفرق بين الضغطين العموديين .

والعرض الفعال للاسطوانات محدود ، فبسبب عدم الدقة وبسبب التشوهات يشارك فى الواقع جزء غير كبير من سطح التماس الاسمى فى نقل الجهد المحيطى. ومن هنا يصبح مفهوما السبب فى ان القدرة القصوى التى تنقلها وسائل نقل الحركة بالاحتكاك لا تتعدى ٢٠٠ – ٣٠٠ كيلووات.

فاقد القدرة ومعامل الكفاية. يحتل كلا هذين البارامترين مكانا خاصا بين المؤشرات الموصفة لوسيلة نقل الحركة. فهما اولا يعتبران مؤشرين للطاقة المبذولة بلا انتاج . وثانيا يظهران بطريق غير مباشر تآكل وسيلة نقل الحركة، حيث ان الطاقة المفقودة فى وسيلة نقل الحركة تتحول الى حرارة وتستهلك جزئيا على تحطيم اسطح التشغيل. وتدرس هذه المسألة بالتفصيل فى منهج نظرية الماكينات، حيث يولى الاهتمام عند دراسة مختلف انواع وسائل نقل الحركة، الى فاقد الطاقة فقط، بسبب اهمية هذا البارامتر فى حساب نقل الحركة، وللاختيار العلمى الصحيح للمواد ، والعمل على ايجاد تصاميم جديدة افضل .

وفاقد القدرة فى اية وسيلة لنقل الحركة يمكن التعبير عنه على الوجه التالى :

$$N_l = N^{\circ}_{lc} + N^{load}_{lv} \quad (12.1)$$

حيث N°_{lc} – الفاقد الثابت غير المعتمد على الحمل فى الاساس ؛

N^{load}_{lv} – الفاقد المتغير المتناسب مع الحمل فى الاساس .

والقيمة N°_{lc} – قريبة من قدرة اللاحمل ، اى للقدرة اللازمة لتدوير وسيلة نقل الحركة اذا كان الحمل على العمود المنقاد $N = 0$ ، وهذه القدرة تعتمد على وزن الاجزاء فى وسيلة نقل الحركة وسرعة الدوران والاحتكاك فى كراسى المحاور وفى الاسطح الاخرى للتلامس.

ومعامل الكفاية العام لوسيلة نقل الحركة، التى تأخذ فى اعتبارها كل الفاقد ، عند قدرة العمود المنقاد N :

$$\eta_{tot} = \frac{N}{N + N_l} = \frac{N}{N + N^{\circ}_{lc} + N^{load}_{lv}} \quad (12.2)$$

وبناء على ذلك فان معامل الكفاية العام لوسيلة نقل الحركة يعتمد على الحمل : فكلما قل الاخير يقل كثيرا معامل الكفاية. وحيث ان قيمة η توصف قبل كل شىء مزايا وسيلة نقل الحركة عند القيام بشغل نافع ، فعند استخدام الصيغة (12.2) ، يفهم من القيمة N_l الفاقد الذى يحدد فى الغالب بطريق التجربة فى حالة اقل حمل مسموح به فى وسيلة نقل الحركة المعنية.

ونورد فيما يلى بعض قيم η المميزة لوسائل نقل الحركة الحديثة على مرحلة واحدة. فحيث ان قيم η قريبة من الواحد الصحيح ، يكون من الايسر المقارنة لا بين قيم η ، بل قيم معاملات الفاقد $k_l = \frac{1}{\eta} - 1 \approx 1 - \eta$ معبرا عنها بالنسبة المئوية. والمعامل k_l لوسائل نقل الحركة بالتروس يساوى ١٪ تقريبا ، ولنقل الحركة

بالجنازير $k_l = 1 - 3\%$ ولنقل الحركة بالسيور المسطحة $k_l = 3 - 5\%$ ، ولنقل الحركة بالاحتكاك $k_l = 4\%$ ، وللسيور ذات المقطع (V) $k_l = 4\%$ وللتروس الدودية $k_l = 10 - 25\%$. وبناء عليه ، فانه على الرغم من ان معامل الكفاية لوسيلة نقل الحركة بالدودات عالية نسبيا ($\eta = 0.9$) ، الا ان الفاقد فيها اكبر ١٠ مرات من الفاقد فى نقل الحركة بالتروس.

ويجدر التأكيد على ان القيم الواردة اعلاه هى للمقارنة فقط . اذ ان القيم الحقيقية لمعامل الكفاية وللفاقد فى الطاقة تعتمد على البارامترات التصميمية لوسائل نقل الحركة ، كما سنتعرض لهذا تفصيلا فيما بعد فى ابواب خاصة.

وزن وابعاد وتكلفة وسائل نقل الحركة. لنقارن كمثال ، بين وسائل نقل الحركة من مختلف الانواع بقدرة ٧٥ كيلووات بنسبة نقل السرعة (على مرحلة واحدة) $i_1 = n_1 : n_2 = 1000 : 250 = 4$. والمؤشرات الاساسية لوسائل نقل الحركة موضحة فى الجدول (١٢ - ٢).

الجدول ١٢- ٢

المؤشرات الاساسية لوسائل نقل الحركة من الانواع المختلفة

وسيلة نقل الحركة	البعد بين المحورين بالمم	عرض العجلة المسننة او البكرة بالمم	الوزن (التقريبى) بالكجم	التكلفة النسبية (٪)
بالسير المسطح المكشوف	٥٠٠٠	٣٥٠	٥٠٠	١٠٦
بالسير المسطح مع اسطوانة شادة	٢٣٠٠	٢٥٠	٥٥٠	١٢٥
بالسيور ذات المقطع (V) المكشوفة	١٨٠٠	١٣٠	٥٠٠	١٠٠
بالجنازير	٨٣٠	٣٦٠	٥٠٠	١٤٠
بالتروس	٢٨٠	١٦٠	٦٠٠	١٦٥

ويمكن الحكم على احجام وسائل نقل الحركة من قيم المسافة بين المحورين A ، وكذلك من عرض البكرات والعجلات. وقد وردت تكلفة وسائل نقل الحركة معبرا عنها بالنسب المئوية (وقد أخذت تكلفة وسيلة نقل الحركة بالسيور ذات المقطع V على انها ١٠٠ (٪). ووزن وسيلة نقل الحركة أخذ مع حساب وزن المحاور وكراسيها. والسرعات المحيطية مأخوذة : لنقل الحركة بالسيور ٢٣٫٦ متر/ ثانية، ولنقل الحركة بالجنازير

٧ امتار/ ثانية ، ولنقل الحركة بالتروس ٥٫٨٥ متر / ثانية.
ويتضح من الجدول (٢-١٢) ان وسيلة نقل الحركة بالتروس تعتبر اقلها حجما، لذا يسهل تركيبها فى الماكينات. والفرق فى الوزن لا يعتبر ملموسا اذا ما أخذ فى الاعتبار الطابع التقريبى للارقام الواردة.

وسائل نقل الحركة ذات نسبة نقل السرعة المتغيرة

فى اثناء عمل غالبية الماكينات يكون من اللازم تتغير (تنظيم) نسبة نقل السرعة فى وسيلة نقل الحركة. فمثلا فى ماكينات النقل، يلزم تغيير نسبة نقل السرعة بين العجلتين القائدتين وبين المحرك، وذلك لتغيير سرعة العجلات وعزم اللى على محورها بما يتفق وظروف حركة السيارة. وفى ماكينات التشغيل يلزم تنظيم سرعة دوران عمود الادارة فيها بغرض المحافظة على انسب سرعة للقطع اثناء تشغيل المصنوعات من مختلف الابعاد، والمواد، وبمختلف العدد القاطعة. وتطرح متطلبات مماثلة فى الكثير من الماكينات الاخرى.

وسائل نقل الحركة ذات التنظيم على مراحل. عند تصميم وسائل نقل الحركة ذات نسب نقل السرعات المتغيرة*، ينطلق من مجموعة سرعات دوران العمود المنقاد المعلومة $n_{min} = n_1, n_2, \dots, n_{j-1}, n_j, \dots, n_{max} = n_z$ ، وكذلك سرعة دوران العمود القائد (وهى فى العادة ثابتة) وعزم اللى على العمود المنقاد $M_t = f(n)$.

واذا لم تكن هناك اسباب خاصة، فان السرعات (عدد اللفات فى الدقيقة) فى مجموعها يجب ان تكون فى العادة متوالية هندسية** .
وتؤخذ فى كل الحالات قيم سرعات دوران الاعمدة وفقا لمجموات الاعداد المفضلة حسب المواصفات القياسية.

والنسبة بين n_{max} و n_{min} تساوى R وتسمى مجال التنظيم:
والنسبة بين اية سرعتين متتاليتين $n_j : n_{j-1} = \varphi$ تسمى معامل التنظيم او معامل متوالية السرعات.
والمتوالية المعطاة تكون فى المعتاد متوالية هندسية، تنطبق عليها النسب التالية:

$$R = \frac{n_{max}}{n_{min}} = \frac{n_z}{n_1} = \varphi^{z-1};$$

---

* تسمى فى السيارات والجرارات بصناديق نقل الحركة، وفى ماكينات التشغيل تسمى بصناديق السرعات او بصناديق التغذية تبعا للمكان الذى تركب هذه الصناديق فيه - سواء لتدوير العمود الرئيسى ام لنقل الحركة بغرض التغذية.

** اثبت هذا بالنسبة لماكينات تشغيل المعادن فى عام ١٨٧٦ الاكاديمى أ. ف. جادولين (١٨٢٨ - ١٨٩٢).

$$\varphi = \sqrt[z-1]{\frac{n_z}{n_1}} = \sqrt[z-1]{R}; \quad z = 1 + \frac{\log R}{\log \varphi}, \tag{12.3}$$

حيث z ـ مجموع عدد السرعات (مراحل التنظيم).
وقيمة معامل التنظيم (معامل المتوالية) φ مقننة بالنسبة لبناء ماكينات التشغيل ففى المعتاد تؤخذ $\varphi = 1.26;\ 1.41;\ 1.58$.
وعندما يكون هناك عمودان تنقل بينهما الحركة بواسطة التعشيق، تعتبر ابسط طريقة للتوصل الى مجموعة السرعات المعلومة للعمود المنقاد مع ثبات سرعة العمود القائد، هى تغيير نسب نقل السرعات عن طريق تغيير التروس(صندوق نقل الحركة بتبديل التروس). ولتسهيل الانتقال من سرعة الى اخرى والاسراع به يمكن تركيب عدد معين من التروس المتزاوجة المختلفة على العمودين بحيث يساوى عدد السرعات المطلوبة، وكذلك قابض أو خابور منزلق يثبت الترس المطلوب على العمود المنقاد . وفى هذه الحالة يكون مجال التنظيم محدودا فى العادة بنسبة نقل السرعة غير الكبيرة. فمثلا عندما تكون $n_0 : n_{max} = 1 : 1.5,\ n_0 : n_{min} = 4$ ، يكون مجال التنظيم مساويا $R = n_{max} : n_{min} = 4 \cdot 1.5 = 6$. ويمكن الحصول على مجال اكبر ، وبالتالى عدد اكبر للسرعات من صندوق (آلية) نقل الحركة المتعدد الاعمدة. فمثلا فى المخارط الحديثة نجد أن مجال تنظيم عدد لفات عمود الادارة $R = 150$ واكثر، أما عدد السرعات فيساوى $z \approx 24$.
ويمكن تنفيذ التنظيم المرحلى (على مراحل) فى وسائل نقل الحركة بالاحتكاك بسهولة بمساعدة بكرات مدرجة وسير ينتقل من درجة (مرحلة) الى اخرى.
ويبلغ مجال التنظيم فى وسائل نقل الحركة بالسير المسطح حتى ٢-٦ ، وعدد المراحل ٢ - ٤، اما للسيور ذات المقطع (V) أو ذات المقطع المستدير فان مجال التنظيم وعدد المراحل يبلغان ٨ ، ٧ على التوالى.
ومسائل تصميم وسائل نقل الحركة بالتنظيم المرحلى معروضة بالتفصيل فى المواضيع الخاصة بحساب وتصميم ماكينات تشغيل المعادن، حيث تستخدم هذه الوسائل استخداما واسعا.

وسائل نقل الحركة بالتنظيم بدون مراحل (المبدلات ـ variators).
تحل مسألة اختيار النظام الانسب لعمل الماكينة حلا جزئيا فقط بمساعدة وسائل نقل الحركة بواسطة التنظيم المرحلى. فاذا ما اختير بدلا من عدد اللفات الامثل المطلوب n_x ، أقرب الاعداد n_{j-1} حيث كانت اقل من عدد اللفات الامثل، علما بان $n_{j-1} < n_x < n_j$ ، فان الفقد النسبى فى سرعة الماكينة (وفى انتاجيتها فى بعض الاحيان) $\Delta v = \frac{n_x - n_{j-1}}{n_x}$.
وحيث أن كل قيم n_x فى القطع $n_{j-1} - n_j$ متساوية فى الاحتمال، يمكن لتوصيف الفاقد فى القطع $n_{j-1} - n_j$ ، اعتبار قيمته المتوسطة انطلاقا من $n_x = \frac{n_{j-1} + n_j}{2}$.

وعند ها

$$\Delta v_m = \frac{n_j - n_{j-1}}{n_j + n_{j-1}} = \frac{\varphi - 1}{\varphi + 1} \qquad (12.4)$$

وعلى هذا الاساس مثلا فالتنظيم المرحلى ،عندما يكون مقام متوالية السرعات $\varphi = 1.58$ ، مرتبطا بالفقد النسبى للسرعة

$$\Delta v_m = \frac{\varphi - 1}{\varphi + 1} 100 = \frac{1.58 - 1}{1.58 + 1} 100 \approx 22\%$$

والفقد الحقيقى فى انتاجية الماكينة أقل عموما من Δv ، حيث تعرف فقط القيمة التقريبية للسرعة الامثل (والعدد الامثل للفات فى الدقيقة n_x) وعلاوة على ذلك فانه فى بعض الحالات يمكن اختيار عدد اللفات الاكبر والاقرب $n_j > n_x$ بدلا من عدد اللفات الاقل والاقرب $n_j < n_x$. ولكن بعض الفقد فى الانتاجية فى حالة التنظيم المرحلى حتمى. ولا يمكن تلافى هذا الفقد تماما الا باستخدام التنظيم غير المرحلى. فباستخدام وسائل نقل الحركة بالتنظيم غير المرحلى، علاوة على الكسب فى انتاجية الماكينة (انظر اعلاه)، يمكن احيانا تحقيق كسب فى التكلفة ايضا. ان تصنيع وسائل نقل الحركة بالتنظيم غير المرحلى تتبعه فى الغالب مصروفات أقل من حالة تصنيع وسائل نقل الحركة بالتنظيم المرحلى مع استخدام عدد كبير من المراحل، علما بأن آلية ادارة وسيلة نقل الحركة تصبح أكثر بساطة.

لقد اشرنا اعلاه الى أن التنظيم غير المرحلى يمكن تحقيقه بأبسط ما يمكن فى وسائل نقل الحركة بالاحتكاك - بأقراص الاحتكاك أو بالسيور. وعلى الصفحة ٣٧٥ ، بينت الرسومات التخطيطية لاكثر أنواع وسائل نقل الحركة من هذا الطراز انتشارا، وهى الوسائل التى تسمى بالمبدلات الاحتكاكية ومبدلات السيور .

الباب الثالث عشر

وسائل نقل الحركة بالاحتكاك

معلومات عامة

تركيبها . تتكون ابسط وسائل نقل الحركة من هذا الطراز من عجلتين (اسطوانتين) - قائدة ومنقادة يضغطان على بعضهما البعض بواسطة سطحيهما العاملين بحيث تكون قوة الاحتكاك الناتجة من هذا الانضغاط مساوية لقيمة الجهد المحيطى المنقول .

وقوة الضغط يمكن أن تكون ثابتة فى القيمة أو متغيرة، اوتوماتيكيا تبعا للعزم المنقول . وفى الحالة الأولى يمكن خلق هذه القوة بوزن الماكينة نفسها ، أو بالروافع، أو بالضغط اليدوى أو باليايات ، وفى الحالة الثانية بأجهزة خاصة.

المزايا والعيوب . مزايا وسائل نقل الحركة بالاحتكاك هى بساطة التصميم ، والعمل بدون ضجيج ، وعيوبها : الضغوط الكبيرة على الاعمدة وكراسى المحاور، وكذلك عدم ثبات نسبة نقل السرعة الذى يحدث حتى مع التصنيع والتركيب الدقيق لعناصر نقل الحركة .

ويمكن لوسائل نقل الحركة بالاحتكاك العمل بسرعة ٢٥ مترا/ثانية وبنسبة نقل للسرعة تصل الى ١٠ . وقيم القدرات المنقولة تتراوح بين القدرات القصيرة جدا فى أجهزة القياس وحتى ٣٠٠ كيلووات فى وسائل نقل القدرة .

تصنيفها . يمكن تركيب وسائل نقل الحركة بالاحتكاك فى الدوائر الكينماتيكية لمختلف الماكينات والاجهزة ، ويمكن تنفيذها على هيئة وسائل منفصلة لنقل الحركة مغلقة فى جسم خاص .

ولنقل الحركة الدورانية بين محورين متوازيين تستخدم العجلات الاسطوانية ذات الاسطح الناعمة أو العجلات ذات المجارى .

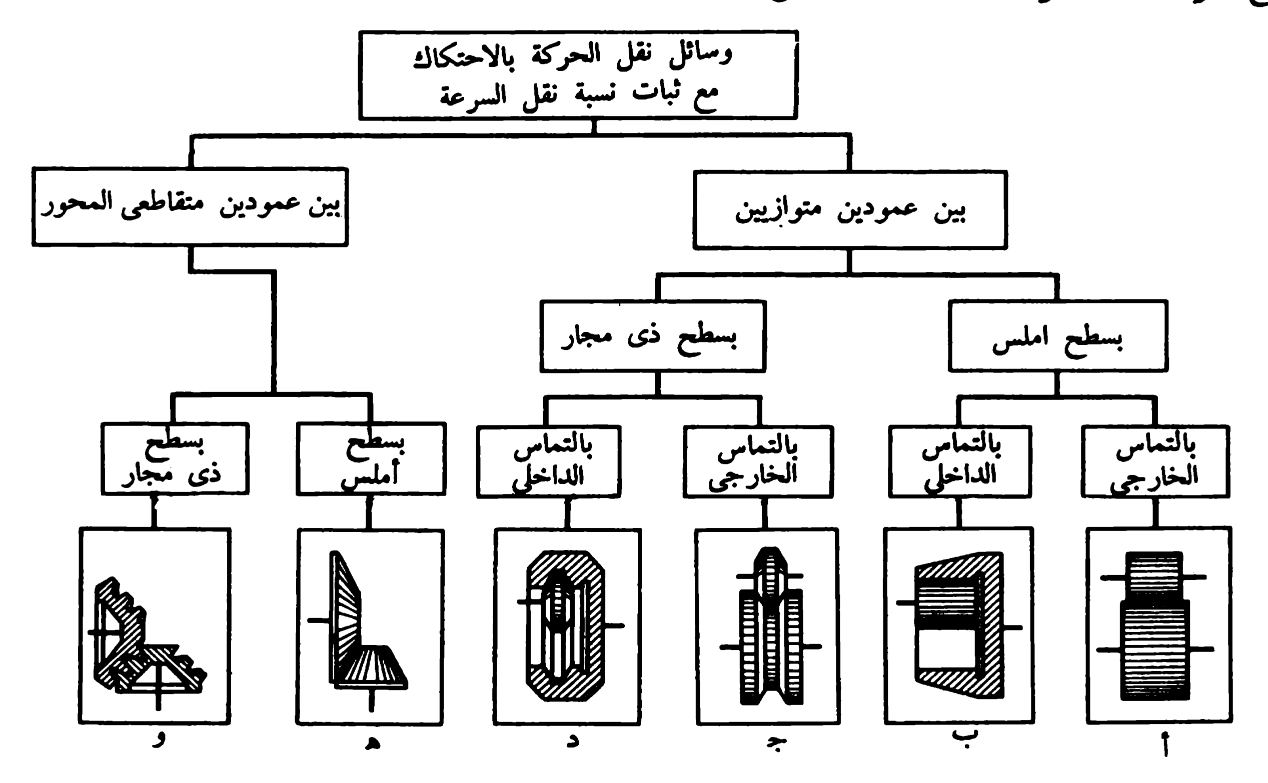
وللاعمدة ذات المحاور المتقاطعة تستخدم العجلات المخروطية التى يمكن أيضا أن اسطحها بمجارى.

والشكل (١٣ - ١) يبين تصنيف وسائل نقل الحركة بالاحتكاك الخاصة بنسبة نقل السرعة الثابتة .

وتبعا للمادة التى تصنع منها العجلات ، يمكن لوسائل نقل الحركة من هذا الطراز أن تعمل اما على الجاف أو عن طريق تزييتها .

الانزلاق في نقل الحركة . يوجد في وسائل نقل الحركة بالاحتكاك كل من الانزلاق الهندسي والمرن .

الانزلاق الهندسي . ويظهر في مساحة التماس على طول رواسم العجلات ويعتمد على شكل الاخيرة . ففي العجلات ذات المجارى على سبيل المثال يحدث التدحرج الخالص فقط في نقطة واحدة على خط التماس ، وفي باقي النقط يحدث انزلاق ، علما بأن الانزلاق يكون اكبر مع زيادة طول خط التماس .



الشكل ١٣ - ١

ووفقا للرموز على الرسم (١٣ - ٦ ، أ) فان سرعة اللاحمل (idle speed) في النقطة C من العجلة I والعجلة II تكون على التوالي

$$v_{IC} = \frac{\pi(D_1 + h)n_1}{60} = v + \frac{\pi h n_1}{60} \; ; \; v_{IIC} = v - \frac{\pi h n_2}{60}$$

وسرعة الانزلاق $v_{IC} - v_{IIC} = \frac{\pi h n_2}{60}(i + 1)$ وهى تزيد مع زيادة الارتفاع h للاسفين (النتوء) .

واذا كان خط التماس موازيا للعمودين أو متقاطعا مع محورى العمودين في نقطة واحدة لا يوجد انزلاق هندسي .

والشكل (١٣-١ ، ج، د ، هـ) يبين وسائل نقل الحركة تعمل بالانزلاق الهندسي بدرجة أو بأخرى .

الانزلاق المرن . ويظهر نتيجة لتشوه العجلات فى اتجاه المماس ويميز عمل نقل الحركة بالاحتكاك بواسطة العجلات من مختلف الاشكال .

وعند نقل العزم بواسطة زوج الاحتكاك فان عناصر سطح العجلة القائدة (driving) تقترب من نقطة التماس (١) (شكل ١٣ - ٢، أ) وهى مضغوطة، وتخرج عند النقطة (٣) وهى مشدودة . وعناصر سطح العجلة المنقادة (driven) تقترب على العكس من النقطة (١) وهى مشدودة وتخرج عند النقطة (٣) وهى مضغوطة. وفى الشكل يرمز لقطاعات العجلتين المعرضة للضغط بخطوط متقطعة قصيرة، ولقطاعات العجلتين المعرضة للشد ، بخطوط متقطعة طويلة.

وتغير اشارة التشوه فى عناصر سطحى العجلتين المتماستين لا يبدأ فورا عقب تلاقيهما ، بل يبدأ عند النقطة (٢) عندما تصبح قوة الاحتكاك أقل من الجهد المحيطى المسلط .

وتبعا لذلك، ففى حدود زاوية التماس α ، توجد زاويتان، زاوية السكون α_{rest} ، وزاوية الانزلاق α_{creep} . والشكل (١٣ - ٢ ، ب) يوضح طابع تغير الاجهادات فى حدود مساحة التلامس بين العجلتين القائدة والمنقادة .

وزيادة طول سطح العجلة القائدة الذى يلامس السطح المتقلص للعجلة المنقادة تؤدى الى الانزلاق الذى يبدأ أيضا من النقطة (٢)، حيث يزيد هذا الانزلاق فى القطاع بين النقطتين (٢)، (٣) وفى النقطة (٣) تصل السرعة الى قيمتها القصوى .

والشكل (١٣ - ٢ ، ج) يوضح طابع تغير السرعات المعنية فى حدود مساحة التلامس .

وهذا الانزلاق الذى يسببه التغير المرن فى طول القطاعين التلامسين فى العجلتين الاحتكاكيتين فى اتجاه تحركهما يسمى بالانزلاق المرن .

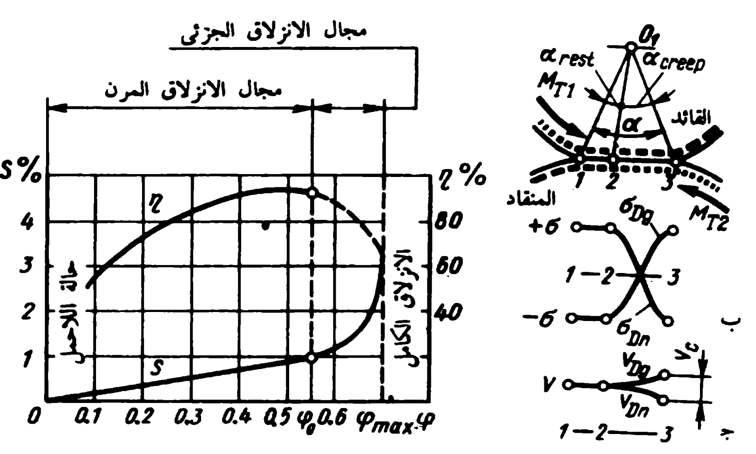
ونتيجة للانزلاق المرن يحدث تأخر العجلة المنقادة عن العجلة القائدة، ويكون هذا التأخر اكبر كلما كانت قيمة الزاوية α_{creep} (زاوية الانزلاق) اكبر فى حدود زاوية التماس α . وتعتمد قيمة α_{creep} على خواص مرونة مادة العجلتين وعلى قيمة الجهد المحيطى المنقول . ومع زيادة الجهد المحيطى تزيد المساحة التى يحدث فى نطاقها الانزلاق المرن وعند $\alpha_{creep} = \alpha$ يحدث الانزلاق الكامل . وهذه الحالة مبينة بوضوح فى الرسم البيانى (شكل ١٣ - ٢ ، د)، وقد تم الحصول على هذا الرسم نتيجة للاختبارات التى اجريت على وسائل نقل الحركة بالاحتكاك . وهذه الرسوم البيانية ترسم على محورى s (الانزلاق النسبى) و φ (معامل الجر)، وهى تعتبر توصيفا للجر فى وسيلة نقل الحركة:

$$s = \frac{n_2 - n_2'}{n_2} \, 100\% \, ,$$

حيث n_2 ، n_2' - عدد اللفات فى الدقيقة للعجلة المنقادة فى حالتى الاحمال والحمل الكامل على التوالى .

ويفهم من معامل لجر انه النسبة بين الجهد المحيطى المنقول وبين اقصى قوة احتكاك ممكنة فى سطح الارتكاز للعجلتين

$$\varphi = \frac{P}{Qf} \qquad (13.1)$$



الشكل ١٣ - ٢

وفى قطاع المنحنى حتى φ_0 يلاحظ انزلاق مرن فقــط. ويجب اختيار حمل التشغيل قريبا من القيمة الحرجة لـ φ_0. وعندما تكون $\varphi < \varphi_0$، فــان مقدرة وسيلة نقل الحركة على الجر لا تكون غير مستخدمة بالكامل. وعند $\varphi > \varphi_0$، تعمل وسيلة نقل الحركة بصورة غير مستقرة وتتآكل بسرعة.

ويأخذ الانزلاق النسبى فى الاعتبار ,
$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{D_2}{D_1(1-s)} \approx \frac{D_2}{D_1}$$
حيث تتراوح قيمة s بين ٠٠٢ر٠ و٠٣ر٠ .

<u>الفاقد ومعامل الكفاية</u>: فاقد القدرة فى وسيلة نقل الحركة بالاحتكاك

$$N_l = N_{lh} + N_{lc} + N_{lb} ;$$

حيث :

$$N_{lh} = \frac{Qk}{100 \times 100} \frac{\pi}{30} (n_1 + n_2) \approx \frac{Qk}{10^5} (n_1 + n_2) kW,$$

N_{lh} - الفاقد فى التخلفية (hysteresis) عند دحرجة العجلتين ؛

Q - الضغط العمودى على خط التماس، الكيلوجرام (انظر ص ٢٠٢) ؛

k - معامل احتكاك التدحرج (rolling) بالسم ؛

$sN_1 = N_{lc}$ كيلووات - وهو الفاقد فى الانزلاق المرن حيث

N_1 - القدرة على العمود القائد بالكيلووات ؛

N_{lb} - الفاقد فى كراسى المحاور (انظر ص ٢٠٥) .

واذا ما كان الزوج الاحتكاكى يحوى الانزلاق الهندسى، ففى الطرف الايمن من المعادلة يجب اضافة الفاقد N_{ls} الناشئ عن ذلك الانزلاق الذى يتحدد بشكل سطح التشغيل فى العجلتين. واذا ما عرفنا الفاقد حسب الصيغة (12.2)، يمكن حساب معامل الكفاية لوسيلة نقل الحركة. وتتراوح قيمة معامل الكفاية هذا بالنسبة لوسائل نقل الحركة بالاحتكاك، بين ٩٥ر٠ و ٩٦ر٠ . والرسم البيانى (الشكل ١٣-٢، د) يوضح العلاقة بين η و φ . وبهدف تقليل الفاقد وزيادة η يستحسن زيادة أقطار العجلات والمحافظة على معامل الجر φ ثابتا أثناء عمل وسيلة نقل الحركة. ويتم التوصل الى ذلك باستخدام الآليات التى تنظم قوة الضغط اوتوماتيكيا تبعا للقوة المحيطية المنقولة (ص ١٩٩) .

<u>أنواع الاعطاب ومقاييس الحساب</u>. تؤدى قوة الضغط فى وسائل نقل الحركة بالاحتكاك الى حدوث اجهادات تماس كبيرة على اسطح الارتكاز

فى العجلات . وحيث ان مكان التماس يتغير اثناء دحرجة العجلات، فان هذه الاجهادات تحمل طابعا دوريا .

ومع وجود هذا الطابع لتحميل العجلات المعدنية العاملة فى الزيت، يحدث تحطم سطوحها نتيجة للتفتت الكلالى (انظر ص ٤١) ، وعند التشغيل على الجاف، فان التحطم يحدث نتيجة للتسخين ولتسلخ سطوح الدحرجة. لذلك فان حساب عجلات وسائل نقل القدرة بالاحتكاك ينحصر فى تحديد ابعادها انطلاقا من شرط تقييد اجهادات التماس .

وأبعاد وسائل نقل الحركة ذات العجلات المصنوعة من المواد غير المعدنية ذات معامل المرونة فى الشد الصغير والمتغير فى قيمته ، تتحدد من شرط تقييد الحمل المسلط على وحدة الاطوال فى خط التماس.

اجزاء وسائل نقل الحركة بالاحتكاك

مواد ها . يجب ان تستجيب مواد العجلات الاحتكاكية للمتطلبات التالية :

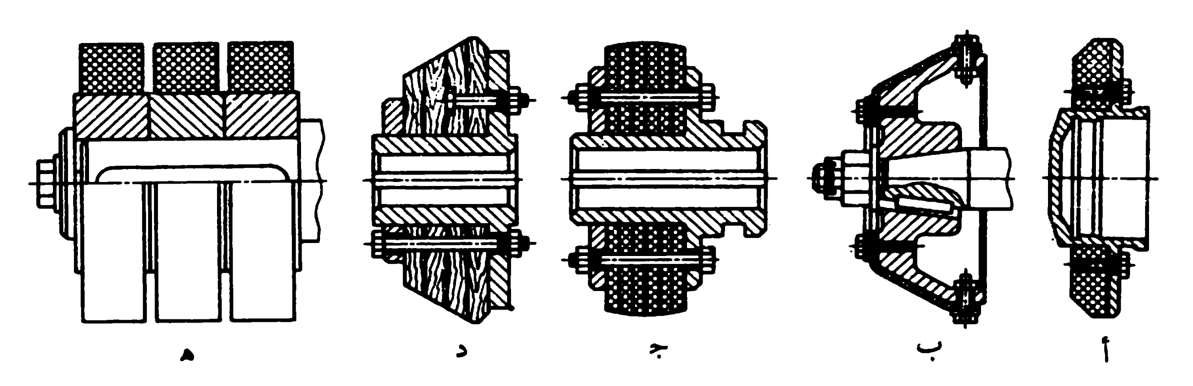
أ ـ معاير مرونة كبير وذلك لتقليل الانزلاق المرن والفاقد فى الدحرجة؛
ب ـ معامل احتكاك كبير لتقليل القيمة المطلوبة لقوة الضغط ؛
جـ ـ متانة تماس عالية ، ومقاومة كبيرة للتآكل وذلك لتوفير عمر التشغيل اللازم لوسيلة نقل الحركة .

ان حالة عمل الصلب المقسى على الصلب المقسى من شأنها ضمان ادنى حجم لوسيلة نقل الحركة ومعامل كفاية عال ،الا ان الامر يتطلب تصنيع دقيق لاجزاء وسيلة نقل الحركة، ونظافة سطوح رفيعة. وأحسن النتائج يعطيها استخدام انواع الصلب من ماركة ШХ 15 ، مع المعالجة الحرارية اللازمة لاسطح الاجزاء حتى الصلادة Rc 60 . ووسائل نقل الحركة بواسطة الاجسام المصنوعة من الصلب المقسى تعمل فى الزيت ، ومع سرعات الانزلاق المنخفضة فى اسطح التلامس يمكن العمل حتى بدون زيت .

وفى حالة عمل الحديد الزهر على الحديد الزهر (أو الصلب) تعطى لاسطح التشغيل اكبر صلادة ممكنة (بالصب فى قوالب حديدية او بالتبريد السريع chilling للاسطح الخارجية بهدف تكوين الحديد الزهر الابيض او لتكوين التقسية السطحية) . ووسائل نقل الحركة المصنوعة من هذه المواد يمكنها العمل سواء بالزيت أم على الجاف . وفى الحالة الاولى تكون كفاية التشغيل اقل وعمر وسيلة نقل الحركة اكبر نتيجة للتآكل الاقل ، بالمقارنة بالحالة الثانية .

والعجلات المصنوعة من التكستوليت (الشكل ١٣ ـ ٣ ،أ) أو من الفبر (١٣ ـ ٣ ، ب) العاملة مع عجلات من الصلب تتطلب قوة ضغط اقل بفضل القيمة العالية لمعامل الاحتكاك.

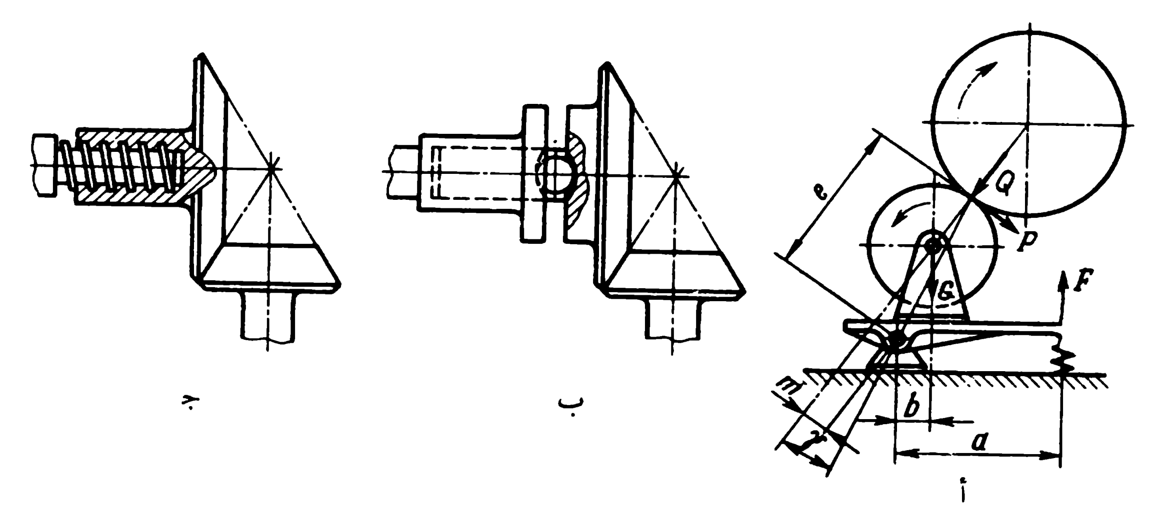
والعجلات المصنوعة من الجلد (الشكل ١٣-٣،جـ) ، أو الخشب (الشكل ١٣ - ٣،د) ،أو من المطاط (الشكل ١٣-٣،هـ) العاملة مع عجلات من الصلب أو الحديد الزهر تعطى قيم عالية لمعامل الاحتكاك ولكنها تتمتع بمتانة تلامس منخفضة. والقيم الحسابية لمعاملات الاحتكاك لمختلف المواد واردة فى الجدول (١٣-١) .



الشكل ١٣ - ٣

تصميم العجلات. يتحدد تصميم العجلات اساسا بمواد اسطح التشغيل. والرسم (١٣-٣) يوضح تصاميم عجلات الاحتكاك ذات العناصر غير المعدنية.

وتعمل العجلات المصنوعة من مواد غير معدنية،على الجاف،كقاعدة عامة تصنع العجلة القائدة من مادة اكثرليونة تجنبالتكون اسطح مستوية على سطح العجلة المنقادة عند الانزلاق .



الشكل ١٣ - ٤

أجهزة الضغط: لطريقة الضغط اهمية كبرى فى عمل وسيلة نقل الحركة. والضغط الثابت المقدار مسموح به فقط فى المنظومات الناقلة للجهد المحيطى غير المتغير فى مقداره. أما فى وسائل نقل الحركة العاملة تحت حمل متغير، فمن المفضل أن يتغير الضغط اوتوماتيكيا وفقا لمقدار الجهد المحيطى المنقول. وعمر وسائل نقل الحركة هذه وكفاءة تشغيلها يكونان اكبر حيث انه فى هذه الحالة لا ينشأ ضغط زائد عن الحد عند نقل قوى محيطية صغيرة.

والضغط الاوتوماتيكي في عجلات الاحتكاك يمكن تحقيقه بالانضغاط الذاتي لعناصر وسيلة نقل الحركة أو بواسطة اجهزة ضاغطة من النوع الكروى أو اللولبى .

والشكل (١٣ - ٤،أ) يوضح الرسم التخطيطى لوسيلة نقل الحركة ذات انضغاط ذاتى . والعجلة القائدة تدور حرة حول مفصل مثبت فى لوحة

الجدول ١٣ - ١

معاملات الاحتكاك f ، واجهادات التماس المسموح بها $[\sigma]_{sur}$ ، والاحمال المسموح بها لوحدة الاطوال من خط التماس $[q]$ ، ومعامل الجسر φ_0 لمختلف المواد

مـادة العجلات	ظروف العمل	f	$[\sigma]_{sur}$ كجم/سم٢	$[q]$ كجم/سم	φ_0
صلب على صلب	فى الزيت	٠ر٠٥	$Bhn\ (25 - 30)$	-	٠ر٧٥
حديد زهر على حديد زهر	فى الزيت	٠ر٠٥	$1.5\sigma_{u\ bend}$	-	٠ر٧٥
صلب على صلب	على الجاف	٠ر١ - ٠ر١٥	$Bhn\ (12 - 15)$	-	٠ر٧٥
تكستوليت على صلب أو زهر	على الجاف	٠ر٢ - ٠ر٢٥	-	٤٠ - ٨٠	٠ر٧٥
فبر على صلب او حديد زهر	على الجاف	٠ر١٥ - ٠ر٢٠	-	٣٥ - ٤٠	٠ر٧٥
جلد على حديد زهر	على الجاف	٠ر٢٥ - ٠ر٣	-	١٥ - ٢٥	٠ر٥
حشب على حديد زهر	على الجاف	٠ر٤٥ - ٠ر٥٠	-	٢ر٥ - ٥	٠ر٧
مطاط على حديد زهر او صلب	على الجاف	٠ر٤٥ - ٠ر٦٠	-	١٠ - ٣٠	٠ر٥

التثبيت . والخط الواصل بين محور دوران اللوحة وبين نقطة تماس العجلتين ، يصنع مع خط المركزين زاوية مقدارها γ. ويحدث الانضغاط الذاتى عندما يكون $\tan \gamma \geqslant f$.
وللتحكم فى مقدار الانضغاط الابتدائى يوجد ياى لهذا الغرض يبلغ جهده

$$F = \frac{Gb + Pe - Qm}{a} \quad \text{kgf},$$

حيث G - وزن المجموعة المتأرجحة .
والجهاز الكروى للضغط (الشكل ١٣ - ٤ ، ب) يتصل بالعمود عن طريق كرتين أو ثلاث مثبتة فى مجارى مائلة وعند دوران العمود تنضغط الكرات ساحبة العجلة ومكونة بذلك القوة اللازمة للضغط .
وجهاز الضغط اللولبى (الشكل ١٣ - ٤ ، جـ) يعمل بنفس مبدأ الكرات.

حساب وسائل نقل الحركة ذات الاعمدة المتوازية المحاور

قوة الضغط يمكن ايجاد قيمة القوة العمودية على خط التماس بالنسبة للعجلة ذات السطح الاسطوانى الخارجى الاملس، من العلاقة

$$Q = \frac{P}{\varphi_0 f} = \frac{\beta P}{f} ,$$

حيث $\beta = \frac{1}{\varphi_0}$ معامل الامان فى التعشيق ، وعندما تؤخذ قيم φ_0 الواردة فى الجدول ١٣ - ١ ، تكون $\beta = 1.35 \div 2$.
ولتعيين قوة الضغط تؤخذ كأساس القدرة N_2 على العمود المنقاد . وعند ذلك يكون من الضرورى معرفة الفاقد فى وسيلة نقل الحركة، التى تكون أبعادها أثناء اجراء الحساب التصميمى مجهولة .
ومع الخطأ الضئيل يمكن تحديد قوة الضغط من القدرة الكاملة N_1 على المحور القائد . فبالنسبة للعجلات الاسطوانية (الشكل ١٣ - ٥ ، أ) تكون قوة الضغط مساوية للضغط العمودى

$$S_1 = Q = \frac{\beta\, 102 N_1}{f v} = \frac{\beta\, 102 N_1\, 60 \times 100}{f \pi D_2 n_2} \quad \text{kgf},$$

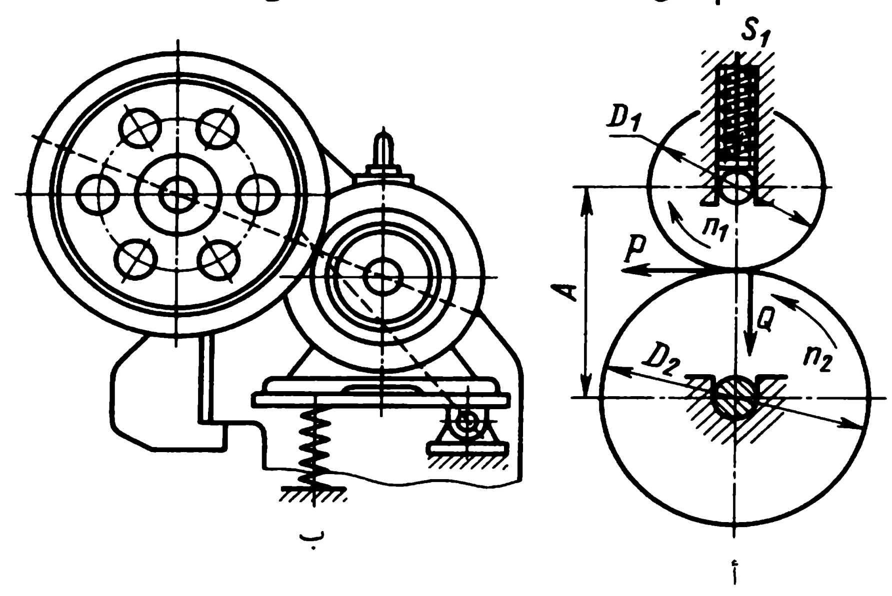
حيث f - معامل الاحتكاك ؛
D_2 - القطر بالسم ؛
n_2 - عدد اللفات فى الدقيقة للعمود المنقاد ؛
N_1 - القدرة على العمود القائد بالكيلووات .
والمسافة بين المحورين

$$A = \frac{D_2}{2} \pm \frac{D_1}{2} = (i \pm 1)\frac{D_1}{2} = \frac{(i \pm 1) D_2}{2i} \tag{13.2}$$

وبالتعويض عن قيمة D_2 بالمقدار $\frac{2Ai}{i \pm 1}$ من هذه الصيغة فى صيغة S_1 نجد أن

$$S_1 = Q = 97400 \frac{\beta}{f} \frac{N_1}{n_2} \frac{i \pm 1}{Ai} \text{ kgf} \tag{13.3}$$

وتستخدم الاشارة (+) فى حالة التماس الخارجى بين العجلتين أما اشارة (—) فتستخدم فى حالة التماس الداخلى .



الشكل ١٣ - ٥

ونقل الحركة بواسطة العجلات الاسطوانية فى المكبس اللامركزى موضح فى الشكل (١٣-٥ ، ب) .

وفى العجلات ذات المجارى تؤدى قوة الضغط الى ضغط عمودى (الشكل ١٣ - ٦ ، أ) ، قيمته فى الحالة العامة عندما يكون عدد المجارى = z ،

$$Q = \frac{\beta P}{2zf}$$

وبنفس الطريقة المتبعة فى السابق نحصل على

$$Q = 48700 \frac{\beta}{zf} \frac{N_1}{n_2} \frac{i \pm 1}{Ai} \text{ kgf} \tag{13.4}$$

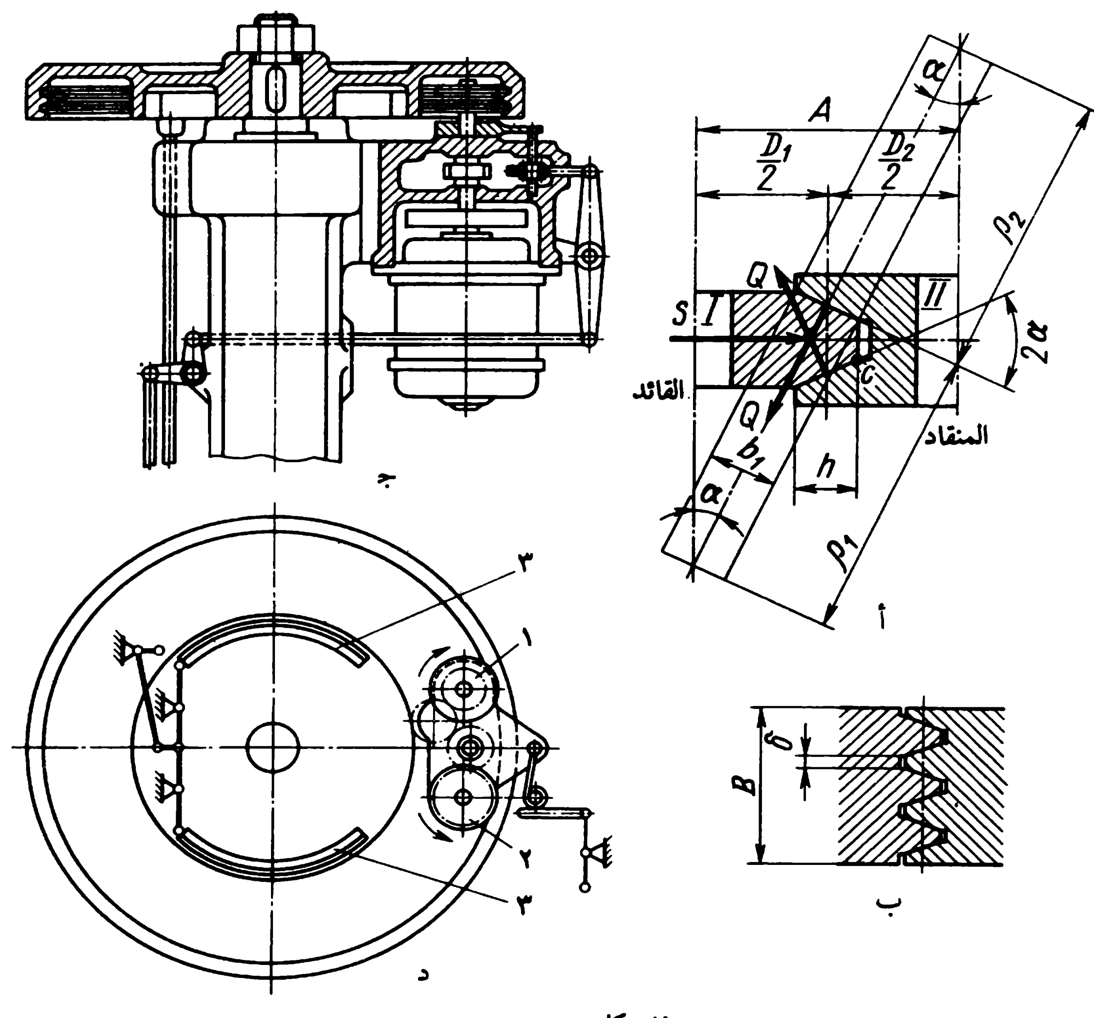
وفى وسائل نقل الحركة من هذا النوع وذات المجرى الواحد (أى $z = 1$) ومن شرط الاتزان للعجلة ذات الاسفين (الشكل ١٣ - ٦ ، أ) جهد الضغط $S = 2Q \sin \alpha$

$$S = 97400 \frac{\beta}{f} \frac{N_1}{n_2} \frac{i \pm 1}{Ai} \sin \alpha, \tag{13.5}$$

حيث α - نصف زاوية اسفين العجلة عند المقطع القطرى .

ومن المعادلتين (13.3) و (13.5) نجد أن $S = S_1 \sin \alpha$ اى أن قوة الضغط فى وسائل نقل الحركة للعجلات ذات الاسفين أقل منها فى

وسائل نقل الحركة ذات العجلات الملساء . ويقل الضغط S مع تقليل الزاوية α ، ولكن من أجل تجنب حدوث انحشار العجلات ذات المجارى والاسافين تستخدم $\alpha \geqslant 15°$ ، وعندما تكون $\alpha = 15°$ ، فان $S = 0.25\,S_1$.



الشكل ١٣ - ٦

والضغط القطرى على كل من العمودين القائد والمنقاد :

$$R_1 = R_2 = \sqrt{P^2 + S^2}$$

ويوضح الشكل (١٣ - ٦ ، ج) وسيلة نقل الحركة فى مكبس لولبى بحمولة ٢٠٠ طن . وتحقق الحركة الترددية للمنزلق (slider) بواسطة آلية خاصة (الشكل ١٣-٦ ، د) ، يدار باليد أو أوتوماتيكيا . وعند تشغيل العجلة (١) يحدث المشوار (الشوط) العامل ، وعند تشغيل العجلة (2) يحدث الرفع . والحافة الداخلية الملساء للحدافة والمزودة بحذائين (3) تقوم بوظيفة جهاز كابح (brake) .

<u>حساب متانة العجلات المعدنية</u> بالنسبة للعجلات <u>الاسطوانية</u> يعتبر نصف قطر الانحناء المحول (reduced)

$$\rho = \frac{\rho_1 \rho_2}{\rho_2 \pm \rho_1} = \frac{D_1 D_2}{2(D_2 \pm D_1)} = \frac{D_2}{2(i \pm 1)}$$

وبالتعويض عن قيمة D_2 من الصيغة (13.2) نحصل على

$$\rho = \frac{Ai}{(i \pm 1)^2} \qquad (13.6)$$

واذا ما عوض فى الصيغة (2.30) عن قيمة Q من الصيغة (13.3) وعن ρ من الصيغة (13.6) وباستبدال σ_{max} ب $[\sigma]_{sur}$ وبالرمز ل $\frac{b}{A}$ بالحرف ψ ، فان صيغة المسافة بين المحورين تأخذ الصورة:

$$A = (i \pm 1) \sqrt[3]{E \frac{\beta}{\psi f} \cdot \frac{N_1}{n_2} \left(\frac{130}{i\,[\sigma]_{sur}} \right)^2} , \qquad (13.7)$$

حيث $E = \frac{2E_1 E_2}{E_1 + E_2}$ - المعاير المحول للمرونة فى حالة الشد ،كجم/سم٢ ؛

E_1 , E_2 - معايرا المرونة فى حالة الشد لمادتى العجلتين القائدة والمنقادة ؛

N_1 - القدرة المنقولة بالكيلووات ؛

$[\sigma]_{sur}$ - اجهاد التماس المسموح به فى الضغط، كجم/سم٢ (انظر الجدول ١٣ - ١) ؛

φ - معامل عرض العجلتين ، وفى المعتاد تؤخذ $\psi = 0.2 - 0.4$.

وكلما كانت ψ اكبر، قلت ابعاد وسيلة نقل الحركة، ولكن يزيد الجهد المحيطى والضغط على كراسى المحاور، ويقل معامل الكفاية لوسيلة نقل الحركة . وعلاوة على ذلك ، تتزايد مع القيم الكبرى ل ψ متطلبات الجساءة والدقة فى تصنيع أجزاء وسيلة نقل الحركة.

وللعجلات ذات المجارى والاسافين (الشكل ١٣ - ٦ ، أ)

$$\rho = \frac{\rho_1 \rho_2}{\rho_2 + \rho_1} = \frac{R_1 R_2}{(R_2 + R_1)\sin\alpha} = \frac{D_2}{2(i \pm 1)\sin\alpha} = \frac{Ai}{(i \pm 1)^2 \sin\alpha} \qquad (13.8)$$

وبهدف تقليل الانزلاق الهندسى الضار يختار ارتفاع الاسفين غير كبير . وهو فى المعتاد :

$$h = 0.04\,D_1 = 0.04\,\frac{D_2}{i} = \frac{0.08\,A}{i \pm 1}$$

وطول خط التماس

$$b = \frac{h}{\cos\alpha} = \frac{0.08\,A}{(i \pm 1)\cos\alpha} \qquad (13.9)$$

وبالتعويض فى الصيغة (2.30) عن قيمة Q من الصيغة (13.4) ، وعن قيمة ρ من الصيغة (13.8) ، وعن b من (13.9) بأخذ $\alpha = 15°$ ، $\sin\alpha \cos\alpha = 0.25$ ، نجد أن المسافة بين المحورين

$$A = (i \pm 1) \sqrt[3]{E \frac{\beta}{z f} \cdot \frac{N_1}{n_2} \left(\frac{163}{i\,[\sigma]_{sur}} \right)^2 (i \pm 1)} \qquad (13.10)$$

ومع زيادة عدد القنوات (المجارى) z ، تقل المسافة بين المحورين . وفى المعتاد تكون $z \leqslant 5$ ، وذلك نتيجة لانه يستحيل توفر التحميل المتساوى لكل الاسافين عند زيادة عددها .

وعرض العجلات ذات المجارى (الشكل ١٣ - ٦ ، ب) $B = 2z(h \tan\alpha + \delta)$. وتؤخذ δ للعجلات المصنوعة من الحديد الزهر $\delta = 0.5$ cm وللعجلات المصنوعة من الصلب $\delta = 0.3$ cm .

ووسائل نقل الحركة المغلقة والعاملة فى الزيت يجرى اختبارها على ارتفاع درجة الحرارة حسب الصيغة (2.38) .

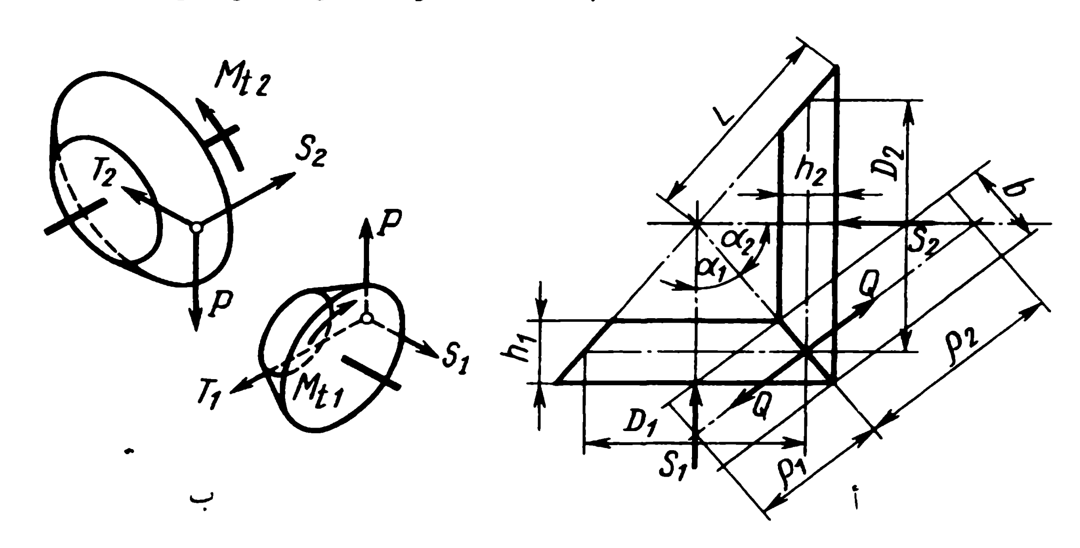
حساب متانة العجلات المصنوعة من مواد غير معدنية. بالتعويض فى الصيغة (2.31) عن قيمة Q من الصيغة (13.3) ، وعن b بالقيمة ψA ، وبعد اجراء عمليات الاختصار ، نحصل على مقدار المسافة بين المحورين للعجلات الاسطوانية :

$$A = 315 \sqrt{\frac{\beta}{\psi f} \quad \frac{N_1}{n_2} \quad \frac{(i \pm 1)}{i\ [q]}} \quad \text{cm}, \tag{13.11}$$

حيث $[q]$ - الحمل المسموح به بالنسبة لوحدة الطول من خط التماس بالكجم/سم (الجدول ١٣ - ١) .

حساب وسائل نقل الحركة بين عمودين محوراهما متقاطعان

قوة الضغط . بالنسبة للعجلات المحروطية (الشكل ١٣-٧ ، أ) ، التى فيها عادة $\alpha_1 + \alpha_2 = 90°$ (نقل الحركة بين عمودين متعامدين) ،



الشكل ١٣ - ٧

يكون الضغط العمودى اللازم لنقل الجهد المحيطى ،

$$Q = \frac{\beta P}{f} = \frac{\beta\, 102}{f\pi} \quad \frac{N_1}{n_2} \quad \frac{60 \times 100}{D_2} \quad . \tag{13.12}$$

وفى الشكل (١٣ - ٧، أ)

$$L - \frac{b}{2} = \frac{1}{2}\sqrt{D_1^2 + D_2^2} = \frac{D_2}{2}\,\frac{\sqrt{i^2+1}}{i},$$

ومن هنا

$$D_2 = \frac{(2L - b)i}{\sqrt{i^2+1}}$$

والتعويض بهذه القيمة D_2 فى المعادلة (13.12) نحصل على

$$Q = 2 \times 97\,400\,\frac{\beta}{f}\,\frac{N_1}{n_2}\,\frac{\sqrt{i^2+1}}{(2L - b)i}\ \text{kgf} \tag{13.13}$$

ومن شرط اتزان العجلتين نجد أنه بالنسبة للعجلة القائدة

$$S_1 = Q\sin\alpha_1\ , \tag{13.14}$$

والنسبة للعجلة المنقادة

$$S_2 = Q\sin\alpha_2,$$

ومن هنا نستنتج انه عندما تكون $\alpha_1 < \alpha_2$ فان $S_1 < S_2$ أى ان الضغط الضرورى يكون اقل عندما يجرى من جانب العجلة الاصغر .

وبعد اجراء التعويض عن قيمة Q فى الصيغة (13.14) من المعادلة (13.13) نجد ان :

$$S_1 = 2 \times 97\,400\,\frac{\beta}{f}\,\frac{N_1}{n_2}\,\frac{\sqrt{i^2+1}}{(2L - b)i}\,\sin\alpha_1\ \text{kgf}$$

وحيث أنه فى وسيلة نقل الحركة قيد البحث $i = \frac{\sin\alpha_2}{\sin\alpha_1}$ مما ينتج عنه أن $\sqrt{i^2+1}\,\sin\alpha_1 = 1$ نجد أن جهد الضغط فى وسيلة نقل الحركة بالعجلات المخروطية المتعامدة

$$S_1 = 2 \times 97\,400\,\frac{\beta}{f}\,\frac{N_1}{n_2}\,\frac{1}{(2L - b)i}\ \text{kgf}, \tag{13.15}$$

حيث L ـ طول راسم المخروط بالسم ؛

b ـ طول راسم العجلة بالسم .

ويؤثر على عمود العجلة القائدة ضغط محورى (الشكل ١٣ - ٧، ب) يساوى لقوة الضغط فى المستوى العمودى على المحورين S_1 ، P والضغطان $T_1 = \cos\alpha_1$ ، P ، T_1 تسبب محصلتهما حملا قطريا :

$$R_1 = \sqrt{P^2 + T_1^2} = \sqrt{P^2 + (Q\cos\alpha_1)^2}$$

وعمود العجلة القائدة يعانى ضغطا محوريا S_2 وحملا مجمعا قطريا :

$$R_2 = \sqrt{P^2 + T_2^2} = \sqrt{P^2 + (Q \cos \alpha_2)^2}$$

وبالنسبة للعجلات الطرفية (الجبهية) (انظر الجدول ١٢-٢) تكون قوة الضغط مساوية للضغط العمودى

$$Q = \frac{\beta P}{f} = \frac{\beta}{f} \frac{102 N_1}{v} = \frac{\beta}{f} \frac{102 N_1}{\pi} \frac{60 \times 100}{D_2 n_2} \text{ kgf},$$

وحيث أن $D_2 = iD_1$ فان

$$Q = 2 \times 97\,400 \frac{\beta}{f} \frac{N_1}{n_2} \frac{1}{D_1 i} \text{ kgf} \qquad (13.16)$$

<u>حساب متانة العجلات المعدنية</u>. للعجلات المخروطية (الشكل ١٣-٧،أ) اذا كان وسيلة نقل الحركة متعامدا $(\alpha_1 + \alpha_2 = 90°)$، $\frac{D_1}{D_2} = \tan \alpha_1 = \frac{1}{i}$ وكان نصفا قطرى الانحناء للعجلتين القائدة والمنقادة مساويين على التوالى

$$\rho_1 = (L - \frac{b}{2}) \tan \alpha_1 = (L - \frac{b}{2}) \frac{1}{i} \; ;$$

$$\rho_2 = (L - \frac{b}{2}) i$$

ونصف القطر للانحناء المحول

$$\rho = \frac{\rho_1 \rho_2}{\rho_1 + \rho_2} = \frac{(L - \frac{b}{2}) i}{i^2 + 1} \qquad (13.17)$$

والتعويض فى الصيغة (2.30) عن قيمة Q من الصيغة (13.13) وعن ρ بقيمتها من الصيغة (13.17)، ويفرض أن $b = \psi_w L$ ، نحصل على أن المسافة L ، طول راسم المخروط

$$L = \sqrt{i^2 + 1} \sqrt[3]{E \frac{\beta}{\psi_w f} \frac{N_1}{n_2} \left[\frac{130}{i \, [\sigma]_{sur} \, (1 - 0.5 \psi_w)} \right]^2} \text{ cm} \qquad (13.18)$$

وفى العادة تؤخذ $\psi_w = 0.2 \div 0.25$.

وللعجلات الطرفية يكون الانحناء المحول

$$\frac{1}{\rho} = \frac{1}{\rho_1} \pm \frac{1}{\rho_2} = \frac{1}{\rho_1} = \frac{2}{D_1}, \qquad (13.19)$$

حيث ان العجلة فى هذه الحالة تتلامس مع سطح مستو انحناؤه $\frac{1}{\rho_2} = 0$.

وبالتعويض فى الصيغة (2.30) عن Q بقيمتها من الصيغة (13.16) وعن ρ بقيمتها من الصيغة (13.19)، وباعتبار $b = \psi_f D_1$

نحصل على

$$D_1 = \sqrt[3]{E \frac{\beta}{\Psi_f f} \frac{N_1}{n_2 i} \left(\frac{260}{[\sigma]_{sur}}\right)^2} \text{ cm} \quad (13.20)$$

وفى المعتاد تؤخذ $\Psi_f = 0.2 \div 1$.

والصيغ الواردة اعلاه تستخدم لحساب وسائل نقل الحركة بالاحتكاك حسب القدرة القصوى التى يجرى نقلها .

وتأثير تغير نظام التشغيل ومدة الخدمة يمكن أخذه فى الاعتبار فى حساب العجلات الاحتكاكية المعدنية العاملة فى الزيت بمساعدة معامل عمر التشغيل . وفى هذه الحالة تدخل فى الصيغ (13.7) ، (13.8) ، (13.18) ، (13.20) النسبة

$$\frac{N_1}{n_2} = \left(\frac{N_1}{n_2}\right)_{rated} k,$$

حيث $\left(\frac{N_1}{n_2}\right)_{rated}$ ـ النسبة المقدرة التى تحدد حسب القدرة القصوى .

والوسائل المغلقة لنقل الحركة والعاملة فى الزيت يجرى اختبارها على زيادة درجة حرارتها [الصيغة (2.38)] .

حساب متانة العجلات غير المعدنية. فى العجلات المخروطية، وبعد التعويض عن Q بقيمتها من الصيغة (13.13) فى الصيغة (2.31) ، وعن b بالقيمة $\Psi_w L$ نحصل على طول راسم المخروط L

$$L = 315 \sqrt{\frac{\beta}{\Psi_w f} \frac{N_1}{n_2} \frac{\sqrt{i^2 + 1}}{(1 - \Psi_w) i \, [q]}} \text{ cm} \quad (13.21)$$

وبالنسبة لوسائل نقل الحركة الطرفية، نتيجة للحل المشترك للمعادلتين (2.31) و (13.16) ، عندما تكون $b = \Psi_f D_1$

$$D_1 = 445 \sqrt{\frac{\beta}{\Psi_f f} \frac{N_1}{n_2} \frac{1}{i \, [q]}} \text{ cm;} \quad (13.22)$$

وهنا $\Psi_f = \frac{b}{D_1} = 0.2 \div 1.0$

وقيم f ، $[q]$ واردة فى الجدول (١٣ - ١) .

الباب الرابع عشر

وسائل نقل الحركة بالسيور

معلومات عامة

التركيب . تتكون وسيلة نقل الحركة بالسيور فى ابسط صورها ، من سير يحاك طرفاه على شكل حلقة مغلقة، أو من سير ذى شكل اعتيادى يركب بالشد على بكرتين - قائدة ومنقادة. وعند الحركة ينقل السير الطاقة من البكرة القائدة الى البكرة المنقادة بفعل الاحتكاك الذى ينشأ بين البكرتين والسير. علما بأن عزم قوى الاحتكاك سوف يساوى على البكرتين للعزم المحرك على العمود القائد ، والعزم المقاوم على العمود المنقاد . وكلما زاد الشد ، وزاوية تماس السير مع البكرة، ومعامل الاحتكاك، يزيد الحمل المنقول .

وفى وسائل نقل الحركة بدون اجهزة شد خاصة، ينشأ الشد نتيجة للتشوه المرن للسير المركب على البكرات بالشد الابتدائى . الا انه بمرور الوقت تمط (تتمدد) السيور ، ويلزم تقصيرها للمحافظة على الشد المطلوب فيها . والخياطة المتكررة للسيور غير مستحبة، كما ان السيور الاعتيادية لا تخاط عموما . لذلك يراعى عادة فى الوسائل الحديثة لنقل الحركة استخدام تجهيزات شادة، وذلك لتكوين وتنظيم شد السيور .

وبغرض زيادة تلامس السير مع البكرة، تستخدم تجهيزات لزيادة زاوية التماس، وفى السيور ذات المقطع (V) يتم التوصل لتأثير زيادة التلامس بفضل المعامل المحول للاحتكاك الاكثر ارتفاعا .

المزايا والعيوب . تكمن مزايا هذه الوسيلة فى امكانية تغطية مسافات كبيرة نسبيا بين محورى العمودين القائد والمنقاد ، ونعومة العمل وخلوه من الصدمات، وحدية الاحمال حيث ان السير يمكنه نقل حمل معين فقط، وعند تجاوزه يحدث الانزلاق كامل (انزلاق السير على اطار البكرة) ، مما يحمى الاجزاء الاخرى فى وسيلة نقل الحركة من زيادة الحمل؛ البساطة، والتكلفة الابتدائية المنخفضة نسبيا .

والعيوب الاساسية لوسيلة نقل الحركة بالسيور، الحجم الكبير، وبعض عدم الثبات فى نسبة نقل السرعة، بسبب انزلاق السير، الاحمال الكبيرة على الاعمدة وكراسيها ، وبناء عليه الفاقد الكبير فى الطاقة، العمر القصير نسبيا للسير (وهو فى حدود ١٠٠٠ - ٥٠٠٠ ساعة تشغيل) .

وتستخدم وسائل نقل الحركة بالسيور للقدرة التى تتجاوز بضع مئات من الكيلووات، واعلى سرعة لها تصل الى ٢٥ - ٥٠ متر/ثانية (تبعا لشكل السير) . واعلى قيمة لنسبة نقل السرعة $i = 10 \div 15$. وقد حصلت

الجدول ١٤ - ١

الاشكال الاساسية لوسيلة نقل الحركة بالسيور

نوع وسيلة نقل الحركة	مجال الاستخدام
مكشوفة	عند وضع المتوازى للعمودين وعند الاتجاه الواحد لدورانهما . وفى الحالة التى تكون فيها المسافة بين المحورين كبيرة يفضل أن يكون الطرف الاسفل هو القائد ، والاعلى منقادا
(crossed) متصالبة	عند الوضع المتوازى للعمودين ، والاتجاه المتعاكس لدورانهما . وفى الموضع الذى يتقاطع فيه السير يتآكل سطحه بالاحتكاك ، ولتجنب التآكل يجب ان تكون المسافة بين المحورين كبيرة ($A_{min} \geqslant 20b$ حيث b - عرض السير) . اما سرعة السير ($v \leqslant 15$ m/sec)
(semi - crossed) نصف متصالبة	عندما يكون العمودان مصلبين (فى العادة بزاوية قائمة) وعندما يكون اتجاه الدوران واحدا . ولكى لا يخرج السير اثناء الحركة عن بكرتيه ، يجب أن تكون الاخيرتان عريضتين بشكل كاف ($B \geqslant 1.4\,b$ حيث B عرض البكرة) ؛ ويجب ان يراجع وضعهما النهائى وتثبيتهما عند تجربة وسيلة نقل الحركة
نصف متصالبة مع اسطوانات دليلية	عندما يكون العمودان مصلبين ، وعند استحالة تثبيت البكرتين حسب الرسم السابق او عندما يكون عكس اتجاه الدوران مطلوبا
باسطوانة شد	عندما يتعذر تحقيق نقل الحركة الطريقة المكشوفة نتيجة للزاوية الصغيرة للتماس على البكرة الصغرى (اى نسبة كبيرة لنقل السرعة مع وجود مسافة صغيرة بين المحورين) ، او عند ضرورة شد السير الذى لا يمكن التوصل بالطرق الاخرى
متعددة البكرات مع اسطوانات دليلية	لنقل الحركة الى عدة اعمدة متوازية الوضع

وسائل نقل الحركة بالسيور على الانتشار الاساسى فى نقل الحركة من المحركات الكهربية وفى السيارات وماكينات التشغيل وفى ماكينات وسيارات النقل .

التصنيف . تبعا لشكل مقطع السير ، تقسم وسائل نقل الحركة بالسيور الى نقل الحركة بالسيور المسطحة ، وبالسيور ذات المقطع (V) ، وبالسيور ذات المقطع الدائرى . وحسب طريقة تكون شد السير تقسم وسائل نقل الحركة الى وسائل بسيطة وباجهزة شادة .

وبفضل المرونة فى الثنى واللى لعضو الجر فى وسيلة نقل الحركة يسمح بالوضع الاختيارى لمحورى البكرتين القائدة والمنقادة ولعددها المختلف . والاشكال الاساسية لوسائل نقل الحركة مبينة فى الجدول (١٤-١).

أسس نظرية وعمل وسائل نقل الحركة بالسيور

الجهد فى السير . سوف نستخدم فى تعيين الجهود المؤثرة فى السير العلاقة التحليلية بين انواع الشد فى خيط مرن يحيط باسطوانة (الشكل ١٤ - ١) ، تلك العلاقة التى اثبتها اويلر عام ١٧٧٥ * :

$$\frac{S_1}{S_2} = e^{f\alpha} = m , \qquad (14.1)$$

حيث S_1 ، S_2 القوتان المطبقتان عند طرفى الخيط؛
f - معامل الاحتكاك بين الخيط وسطح الاسطوانة ؛
α - زاوية التماس بين الخيط والاسطوانة.

الشكل ١٤ - ١

لقد استنتجت معادلة اويلر بالنسبة لخيط مرن لا يستطيل بالشد وعديم الوزن ، ينزلق على سطح اسطوانة غير متحركة. وعضو الجر فى وسيلة نقل الحركة بالسيور يختلف عن حالة الخيط . لذلك فان الصيغة (١٤ - ١) المستنتجة لحالة انزلاق الخيط على طول كل قوس التماس لا تعطى اكثر من العلاقة التقريبية بين الشد فى طرفى السير. وتعتمد درجة التقريب هذه على مدى صحة قيم معامل الاحتكاك f الذى يجب ان يفهم منه انه المعامل المحول للاحتكاك على طول كل قوس التماس α . وترد فى الجدول ١٤ - ٢ القيم المتوسطة لمعامل الاحتكاك .

وفى السير المركب على البكرة ، والذى يحتفظ بطوله ثابتا ككل ، تسبب زيادة الشد فى احد فروعه ، تقليلا مناظرا للشد فى الفرع الآخر ، وفى

---

* يرد استنتاج معادلة اويلر فى منهج "نظرية الماكينات والآليات".

الوقت نفسه يبقى مجموع الشدين فى الفرعين ثابتا دائما . ويعبر عن ذلك بصيغة بونسيليه

$$S_1 + S_2 = 2S_0, \tag{14.2}$$

حيث S_0 - الشد الابتدائى المتساوى فى كلا فرعى السير .

الجدول ١٤ - ٢

القيم المتوسطة لمعامل الاحتكاك f
بين السير واطار البكرة

أنواع السيور	مادة اطار البكرة: ورق مضغوط	خشب	صلب	حديد زهر
سيور جلدية :				
مدبوغة بمواد نباتية	٠ر٣٥	٠ر٣٠	٠ر٢٥	٠ر٢٥
مدبوغة بمواد معدنية	٠ر٥٠	٠ر٤٥	٠ر٤٠	٠ر٤٠
سيور قطنية :				
من شريط محاك بقطعة واحدة	٠ر٢٨	٠ر٢٥	٠ر٢٢	٠ر٢٢
مخاطة	٠ر٢٥	٠ر٢٣	٠ر٢٠	٠ر٢٠
سيور صوفية	٠ر٤٥	٠ر٤٠	٠ر٣٥	٠ر٣٥
سيور شبه مطاطية	٠ر٣٥	٠ر٣٢	٠ر٣٠	٠ر٣٠

وهذه العلاقة لا تؤكدها تماما الخبرة ، اذ ان مجموع الشدين العاملين يظهر دائما انه اكبر قليلا من ضعف الشد الابتدائى ولا يعتبر قيمة ثابتة، بل انه يزداد مع زيادة سرعة السير.
وعلاوة على ذلك، فان شدى الفرعين S_1 ، S_2 يرتبطان بالجهد المحيطى المنقول P حسب العلاقة :

$$S_1 - S_2 = P \tag{14.3}$$

وبحل المعادلتين (14.2) ، (14.3) سويا ، نحصل على :

$$S_1 = S_0 + \frac{P_2}{2} \quad ; \qquad S_2 = S_0 - \frac{P}{2} \tag{14.4}$$

وعلى ذلك ، ففى وسيلة نقل الحركة المتوقفة، أو فى وسيلة نقل الحركة العاملة بدون حمل ، يكون الشد فى كلا الفرعين متساويين ومساويين للشد الابتدائى S_0 . وعند تحميل وسيلة نقل الحركة يعاد توزيع الشدين ، اذ يزداد الشد فى الفرع القائد بمقدار نصف الجهد المحيطى المنقول ، اما فى الفرع المنقاد فيقل بنفس المقدار.

والعلاقة الابتدائية (14.1) ، مثلها فى ذلك مثل العلاقات التالية (14.2) - (14.4) مع الأخذ فى الاعتبار الافتراضات الواردة سابقا ، تكون صحيحة وقابلة للتطبيق ايضا فى السيور ذات المقطع (V) .

الانزلاق المرن. يتميز عنصر الجر فى وسائل نقل الحركة بالسيور بخاصية المطيلية المرنة . فالسير لا ينزلق بكل نقط قوس التماس على بكرة غير متحركة، بل انه مع حركته يجر وراءه البكرة. وحيث ان كتلة حجم السير المنتقل فى كل وحدة زمن سواء فى الفرع القائد او الفرع المنقاد من السير المغلق تبقى ثابتة، فاننا نحصل بالنسبة للحركة الحادثة على :

$$\gamma_i v_i F_i = \text{const},$$

حيث γ_i - الوزن النوعى للسير ؛
v_i - سرعة السير ؛
F_i - مساحة مقطع السير.

واذا ما عبرنا عن كل من F_i ، γ_i بقيمتيهما F_0 ، γ_0 فى السير غير المحمل ، فان :

$$F_i = F_0 (1 - \mu \varepsilon_i)^2; \qquad \gamma_i = \frac{\gamma_0}{(1 + \varepsilon_i)(1 - \mu \varepsilon_i)^2},$$

حيث ε_i - تشوه السير فى الموضع المعنى ؛
μ - معامل بواسون لمادة السير .

وبعد اجراء الاختصارات نحصل على :

$$\frac{v_i}{1 + \varepsilon_i} = \text{const.} \qquad (14.5)$$

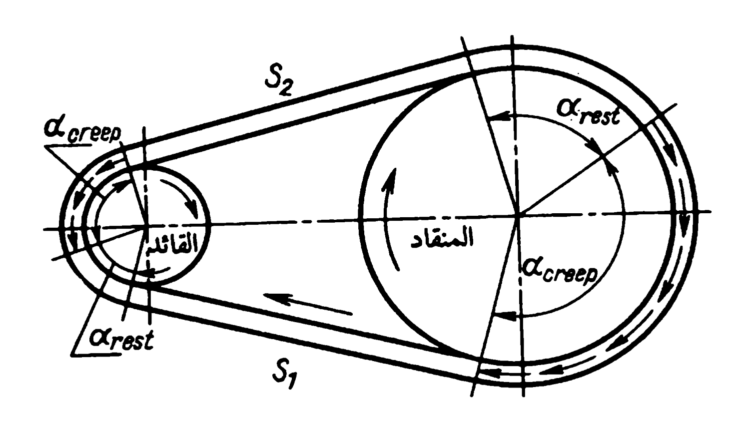
ومن هذه الصيغة نستنتج ان السرعة ليست متساوية على طول السير ، فهى اكبر فى نقطة التى يكون الشد عندها اكبر ، وينتج عن ذلك حدوث انزلاق السير على سطح البكرتين .

فعلى سبيل المثال ، طالما ان السير يبدأ التلامس مع البكرة القائدة بسرعة v_1 ويتركها بسرعة v_2 على حين ان السرعة على اطار البكرة ثابتة v_1 فانه فى النقط حيث لا تتساوى فيها سرعتا سطحى السير والبكرة المتلامسين ، يكون الانزلاق حتمى . فالانزلاق يعتبر نتيجة لمرونة السير ($\varepsilon \neq 0$) ولذلك يسمى بالانزلاق المرن للسير على البكرة .

ولاول مرة بحث جوكوفسكى عام ١٨٩٣ فى الانزلاق المرن . وفى السنوات التالية ، ومع وضع الطرائق الجديدة لقياس الانزلاق ومع ظهور

الانواع الجديدة للسيور ، استمرت تلك الابحاث فى ظروف وسائل نقل الحركة الموجودة والعاملة بانظمة مختلفة .

لقد وضحت الابحاث التجريبية انه فى وسيلة نقل الحركة العاملة بظروف طبيعية ، يحدث الانزلاق المرن ليس على كل طول قوس التماس بين البكرة والسير. ففى كل بكرة ينقسم قوس التماس α الى قسمين : قوس الانزلاق α_{creep} وقوس السكون α_{rest} (الشكل ١٤-٢) حيث لا يلاحظ فيه الانزلاق . وقوس السكون فى كل من البكرتين يوجد فى جهة بدء تماس السير والبكرة ، أما قوس الانزلاق فيوجد فى جهة انتهاء التماس.



الشكل ١٤-٢

ومع زيادة الحمل يزيد قوس الانزلاق على حساب تقليل قوس السكون . وعند حدوث الحمل الزائد ينتشر الانزلاق على طول قوس التماس كله α وعندها يتحول الانزلاق المرن الى ما يسمى بالانزلاق الكامل الذى يعتبر انزلاقا ضارا .

ومع ادخال الانزلاق المرن فى الاعتبار تتحدد السرعتان المحيطيتان للبكرتين القائدة والمنقادة بالشرط :

$$v_2 = v_1 - v_1 s = v_1 (1 - s) ,$$

حيث $s = \varepsilon_1 - \varepsilon_2$ - معامل انزلاق السير ، وهو للسيور المسطحة $s = 0.01 \div 0.02$.

وبناء على ذلك ، تكون العلاقة بين عدد لفات البكرتين

$$D_2 n_2 = D_1 n_1 (1 - s) ,$$

ومن هنا تكون نسبة نقل السرعة

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{D_2}{D_1 (1 - s)} \approx \frac{D_2}{D_1} \qquad (14.6)$$

حيث D_1 ، D_2 - قطرا البكرتين .

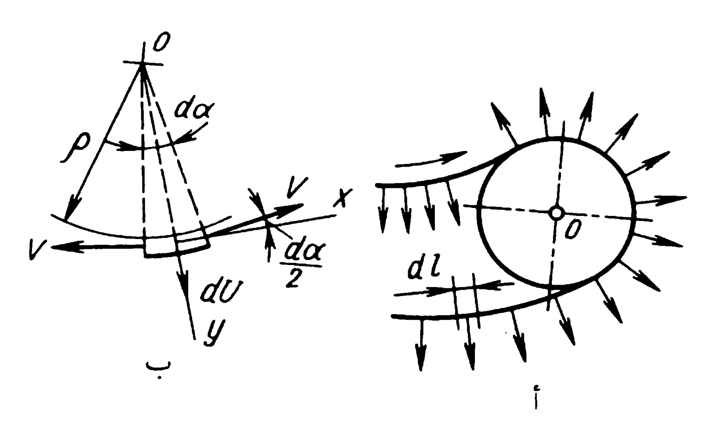
معامل الجر. تسمى النسبة بين الجهد المحيطى المنقول بالسير وبين مجموع الشدين فى فرعيه بمعامل الجر

$$\varphi = \frac{P}{2S_0} = \frac{S_1 - S_2}{S_1 + S_2} = \frac{m - 1}{m + 1} \qquad (14.7)$$

وبدراسة وسيلة نقل الحركة بالسيور تجريبيا ، ومع وضع قيم معامل الجر φ على محور السينات فى الرسم البيانى ، وقيم معامل الانزلاق s على محور الصادات، نحصل على المنحنى الخصائصى

للجر فى وسيلة نقل الحركة، وهو منحنى مشابه لما سبق اوردناه بالنسبة لوسائل نقل الحركة بالاحتكاك (الشكل ١٣ - ٢ ،د).

ويمكن تقسيم المنحنى الخصائص لوسيلة نقل الحركة فى الجر الى قطاعين. واحدهما قطاع على شكل خط مستقيم، حيث تصاحب زيادة φ زيادة مطردة لمعامل الانزلاق s . وهو قطاع التشغيل فى المنحنى الخصائصى. والقطاع الثانى - منحنى وعنده يكون عمل وسيلة نقل الحركة غير مستقر: فمع الزيادة الصغيرة العفوية للحمل ينزلق السير انزلاقا كاملا، وهذا القطاع من المنحنى الخصائصى غير صالح للتشغيل. ونقطة الانتقال بين القطاع المستقيم وبين القطاع المنحنى هى النقطة الحرجة فى المنحنى الخصائصى هذا.



الشكل ١٤ - ٣

وقيمة φ_0 تقابل اعلى قيمة للحمل فى ظروف الاستخدام الرشيد للسير. وعندما تكون $\varphi < \varphi_0$ لا تستغل مقدرة الجر للسير بالكامل. وعندما تكون $\varphi > \varphi_0$ يعمل السير بلا استقرار ويتآكل بسرعة.

وعلى اساس الابحاث التى اجريت على مدى سنين عديدة، يمكن التوصية بالقيم المتوسطة التالية لمعاملات الجر وهى: للسيور المسطحة $\varphi_0 = 0.5 \div 0.6$ ؛ وللسيور ذات المقطع (V) $\varphi_0 = 0.7 \div 0.9$.

الشد الناتج من قوى الطرد المركزى. حيث ان للسير كتلة ما، فانه مع تحركه على مسار منحن تؤثر عليه قوى الطرد المركزى، التى تؤدى الى ظهور قوى شد اضافية فى كل عناصر السير (الشكل ١٤ - ٣، أ).

ولتعيين قوى الشد هذه، نأخذ عنصرا من السير طوله $\rho d\alpha = dl$ (الشكل ١٤-٣، ب) وتؤثر على كتلة العنصر dm قوة طرد مركزى dU يوازنها الشدان V .

وشرط الاتزان:

$$-dU + 2V \sin \frac{d\alpha}{2} = 0$$

ويمكن ان نعبر عن قوة الطرد المركزى فى الصيغة:

$$dU = \frac{v^2\, dm}{\rho} = \frac{v^2}{\rho} q \frac{\rho d\alpha}{g} = q \frac{v^2}{g} d\alpha ,$$

حيث q - وزن وحدة الاطوال من السير.

واذا ما اعتبارنا ان $\sin \frac{d\alpha}{2} \approx \frac{d\alpha}{2}$ ، نحصل على

$$V = q \frac{v^2}{g} \tag{14.8}$$

وبناء عليه فان الشد V الذى يظهر نتيجة لتأثير قوى الطرد المركزى لا يعتمد على نصف قطر تقوس عنصر السير موضع البحث، فالشد متساو لكل قطاعات السير.

والشد الناتج من قوى الطرد المركزى لا يؤثر مباشرة على مدى التصاق السير بالبكرات، ذلك الالتصاق الذى يتحدد بالشد الابتدائى . وتسبب قوى الطرد المركزى فى السير اجهادات شادة.

الاجهادات فى السير. فى الاجزاء المختلفة من السير حسب طوله تظهر اجهادات مختلفة. والحالة العامة لهذه الاجهادات هى اجهادات الشد الناتجة من الشد الابتدائى ومن الجهد المنقول ومن قوى الطرد المركزى، واجهادات الثنى الناتجة من ثنى السير حول البكرات والاسطوانات.

وللسير المسطح ذى مساحة المقطع العرضى $F = bh$ (حيث b ـ عرض السير ، h ـ سمكه) ، تحسب هذه الاجهادات بالطريقة التالية.

الاجهاد الناتج من الشد الابتدائى

$$\sigma_0 = \frac{S_0}{F} = \frac{S_0}{bh} ; \quad (14.9)$$

الاجهاد الناتج من الجهد المحيطى المنقول بالسير

$$k = \frac{P}{F} = \frac{P}{bh} ; \quad (14.10)$$

الاجهاد الناتج من تأثير قوى الطرد المركزى

$$\sigma_v = \frac{V}{F} = \frac{q}{F} \frac{v^2}{g} = \frac{\gamma v^2}{10g} , \quad (14.11)$$

حيث γ الوزن النوعى لمادة السير ؛

والاجهاد الناتج من ثنى السير

$$\sigma_{bend} = E_{bend} \frac{h}{D} , \quad (14.12)$$

حيث E_b ـ المعاير المحول لمرونة السير فى حالة الثنى ؛

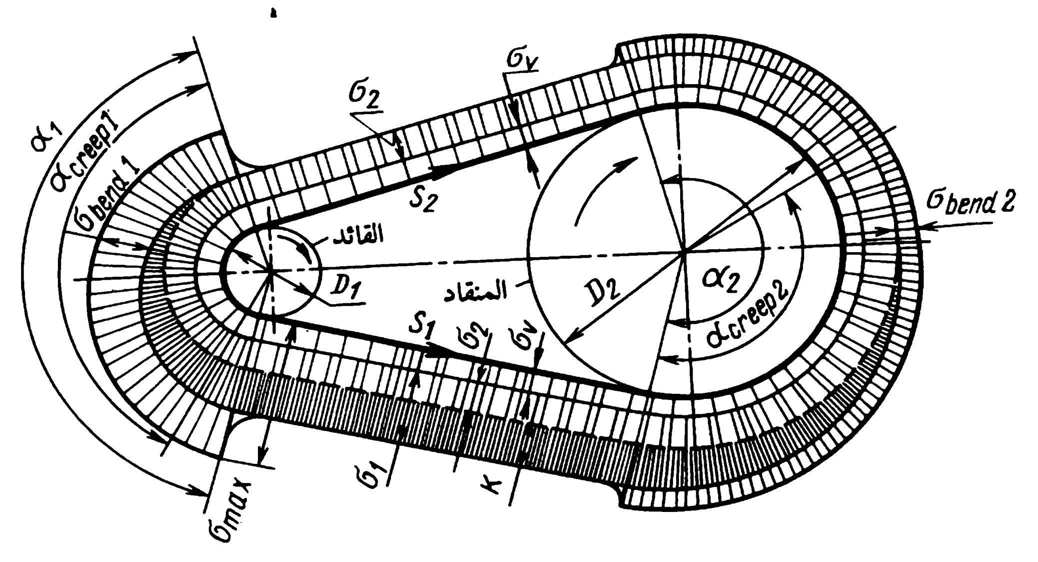
D ـ قطر البكرة او الاسطوانة الملتف حولها السير .

وباستخدام هذه المعادلات يمكن بسهولة تعيين الاجهادات فى مختلف قطاعات السير العامل . والشكل (١٤ ـ ٤) يوضح الصورة التقريبية لتوزيع وتغير الاجهادات فى سير وسيلة نقل الحركة المكشوفة. والصورة تشهد على ان الاجهادات فى مقاطع السير تتغير مع حركته .

والاجهاد الاكبر σ_{max} ينشأ فى الفرع القائد على البكرة الاقل قطرا ويساوى :

$$\sigma_{max} = \sigma_0 + \frac{k}{2} + \sigma_v + \sigma_{bend} = \frac{S_0}{F} + \frac{P}{2F} + \frac{\gamma v^2}{10g} + E_{bend}\frac{h}{D_1} \quad (14.13)$$

الفاقد ومعامل الكفاية . يتكون الفاقد فى وسيلة نقل الحركة بالسيور من N_{le} الناتجة من مرونة السير ومن انزلاقه على البكرات ومن الاحتكاك الداخلى بين جزئيات السير اثناء قوى الثنى والشد والضغط المتغيـرة، ومن الفاقد نتيجة لمقاومة الهواء لحركة السير والبكرات، وكذلك الاحتكاك فى كراسى محاور البكرات. ومقادير الفاقد N_{le} ليست فقط مؤشرات لفاقد الطاقة بلا انتاج ، ولكنها ايضا تؤدى الى تكون حرارة ترتفع من جرائها درجة حرارة السير. وخلافا عن مواد غالبية اجزاء الماكينات، فان مواد السيور (سواء اكانت من الياف طبيعية أو اصطناعية، او من



الشكل ١٤ - ٤

المطاط، او من المكونات المشبعة الاخرى) حساسة للغاية بالنسبة لزيادة درجة الحرارة. فمع ارتفاع درجة الحرارة تنخفض بشدة متانة ومطيلية السير. وحيث انه مع تساوى باقى الشروط تكون درجة حرارة السير متناسبة طرديا مع الفاقد ، فان قيمة الفاقد N_{le} تصبح احد المؤشرات الدالة على كفاءة عمل وسيلة نقل الحركة .

والفاقد نتيجة لمقاومة الهواء يحسب فقط فى حالات خاصة - عندما تكون البكرات ذات اقطار كبرى ومزودة ببرامق ، اما فى وسائل نقل الحركة الاعتيادية، حتى ولو كانت سريعة الحركة، فان الفاقد من هذا النوع ضئيل للغاية . وتعيين الفاقد N_{lb} فى كراسى المحاور مبين فى الفصلين الخامس والعشرين والسادس والعشرين .

وبناء على ذلك يكون اجمالى الفاقد فى وسيلة نقل الحركة بالسيور

$$N_l = N_{le} + N_{lb}$$

ومقدار الفاقد فى وحدة الزمن يمكن التعبير عنه على الوجه التالى :

$$N_{le} = Fvk_{pr}, \quad (14.14)$$

حيث F - مساحة مقطع السير ؛
v - سرعة السير ؛ .
k_{pr} - معامل التناسب ويعتمد على شكل وسيلة نقل الحركة وخـواص السير وتصميم الوسيلة.
والمعنى الفيزيائى للمعامل k_{pr} هو مقدار الفاقد بالنسبة لوحدة الحجوم للسير.
وتحسب كفاية اداء وسيلة نقل الحركة حسب الصيغة (12.2). والقيم المتوسطة لكفاية الاداء للوسائل العادية لنقل الحركة ذات السيور المسطحة والمكشوفة $\eta = 0.98$ ، والمزودة باسطوانة شادة $\eta = 0.95$ ولوسيلة نقل الحركة بالسيور ذات المقطع (V) $\eta = 0.96$.

أجزاء وسائل نقل الحركة بالسيور

السيور الناقلة. فى وسائل نقل الحركة بالسيور، يعتبر السير الناقــل للحركة، عضو الجر فيها ، أهم الاجزاء، المحددة لمقدرة وسيلة نقل الحركـة على الاداء. وعمر خدمة السير يقل عدة مرات عن أعمار باقى الاجزاء فـى الوسيلة. لذلك يكون من الواجب ايلاء الاختيار الصحيح للسيور وتحسينها اهتمام كبير.
ومن الضرورى ان يستجيب السير للمتطلبات الاساسية التالية: المقـدرة العالية على الجر ، والتحمل الكافى ، ومتانة الكلال الكافية والتكلفة غيــر الباهظة.
وتقسم سيور نقل الحركة وفق شكل مقطعها وتركيبها ومادة صنعهــــا وتكنولوجيا هذا التصنيع.
وأهم العلامات التى تحدد تصميم البكرات ووسيلة نقل الحركة كلهـا ، تعتبر شكل مقطع السير. وحسب هذه العلامة تقسم السيور الناقلة الــى سيور مستديرة المقطع أو مسطحة او ذات مقطع (V).
وتستخدم السيور المستديرة المقطع بصورة نادرة. واحتفظت السيـــــور المستديرة المقطع بمواقعها فقط فى وسائل النقل ذات القدرات الصغيرة، مثلا فى ماكينات الخياطة.
والسيور المسطحة تستخدم بأوسع انتشار. وتصنع بعروض مختلفــــة (ابتداء من ١٥ حتى ٥٠٠ مم) وبتركيبات منوعة ومن مواد مختلفة. ولقد جرى فى الاتحاد السوفييتى توحيد السيور المسطحة قياسيا وهى تنتــج انتاجا ممركزا ، وهى بأشكال اربعة مختلفة : أ) سيور جلدية؛ ب) سيور شبه المطاطية ؛ ج) سيور قطنية منسوجة؛ د) سيور صوفية منسوجــة.
والمواصفات الفنية الاساسية لهذه السيور مبينة فى الجدول (١٤-٣).
ومن بين كل انواع السيور المسطحة تتمتع السيور الجلدية باحســـن مقدرة على الجر. وهى تصنع من الجلود المدبوغة بمواد نباتية أو نباتيـة

تضاف اليها املاح الكروم او المدبوغة باملاح الكروم وحدها. ولكن بسبب التكلفة الباهظة للجلود فان هذه السيور تستخدم فقط في الحالات التى تعار لها اهمية خاصة.

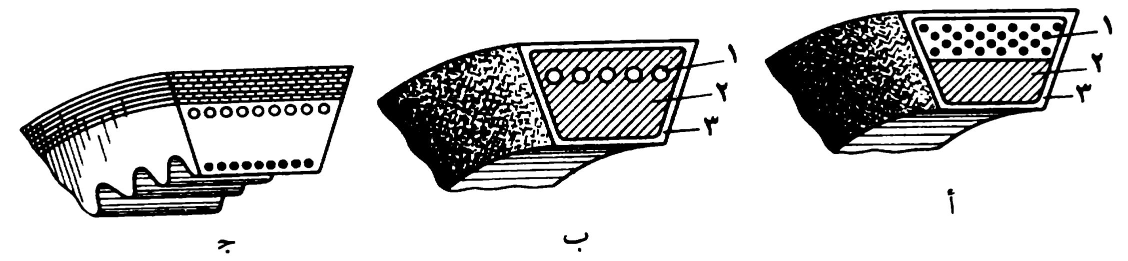
السيور شبه المطاطية تصنع من عدة طبقات من نسيج السيور* (belting) توصل فيما بينها بطبقات من المطاط (vulcanized) وطبقات المطاط البينية تكسب السير مرونة كبرى.

والسيور القطنية المنسوجة تتكون من خيوط منسوجة من نوعين : السداء واللحمة، وهى مشبعة في الاوزوكريت (شمع معدنى) والبتومين بغرض المحافظة عليها من التأثيرات الجوية، ولزيارة متانتها وتقليل انكماشها فى حالتها الحرة.

والسيور الصوفية المنسوجة تصنع من خيوط من ثلاثة انواع - خيوط السداء الاساسى (صوفية)، وخيوط السداء الرابطة وخيوط اللحمة وهى مصنوعة من القطن. وهى مشبعة تركيبة من القلافونية والطباشير المسحوق والخبث الحديدى.

وعلاوة على الانواع القياسية من السيور المسطحة تصنع سيور محاكة شبه مطاطية ومن الكتان المخلوط او الحرير المخلوط أو النايلون المخلوط وغيرها وذلك لمختلف الاغراض (لنقل الحركة السريعة، ولماكينات التجليخ الداخلى وغيرها).

السيور ذات المقطع (V) (الشكل ١٤ - ٥) قد حصلت على اوسع انتشار في استخدامها فى الصناعة بسبب ادخال المحركات الكهربية



الشكل ١٤ - ٥

المنفردة. ووسائل نقل الحركة بالسيور فى هذه الحالة تتميز بمسافات صغيرة بين البكرات مع نسب نقل للسرعة كبيرة. ونجد نفس الظروف فى نقل الحركة الدورانية من عمود المرفق فى محرك السيارة الى المروحة والى مضخة (طلمبة) الماء والى المولد. وكان السير المسطح قد يعمل بشكل ردىء تحت هذه الظروف، وقد تكون مقدرته على الجر غير كافية.

ومقدرة الجر للسيور ذات المقطع (V) اعلى من السيور المسطحة وذلك بفضل معامل الاحتكاك المحول العالى.

---

* قماش متين للاغراض الغنية يصنع لاعداد الشرائط الناقلة وللسيور.

الجدول ١٤ - ٣

السيور المسطحة

المواصفات العامة b	السيور الجلدية	السيور شبه المطاطية	السيور القطنية المنسوجة	السيور الصوفية المنسوجة	السيور المحاكة شبه المطاطية	السيور المنسوجة من الكتان المخلوط
عرض السير b ، مم	٢٠ - ٣٠٠	٢٠ - ٥٠٠	٣٠ - ٢٥٠	٥٠ - ٥٠٠	٢٠ - ١٣٥	١٥ - ٥٥
سمك السير h ، مم	الاحادية ٣ - ٥ر٥ المزدوجة ٥ر٧ - ١٠	٥ر٢ - ٥ر١٣	٥ر٤-٥ر٦-٥ر٨	٦ - ٩ - ١١	٥ر٢ - ٧٥ر١ - ٣ر٣	٧٥ر١
حد المتانة في الشد ، كجم/سم^2	٢٠٠	٤٤٠ (بدون طبقات بينية) ٣٧٠ (بالطبقات البينية)	٣٥٠ - ٤٠٥	٣٠٠	٣٠٠	٥٠٠
الاستطالة عند القطع بالنسبة المئوية ـ حد اقصى	١٠*	١٨	٢٠ - ٢٥	٦٠	١٦	١٠

النسبة $\frac{D_{min}}{h}$: المفضلة	٣٥	٤٠	٣٠ - ٤٠	٣٠	٤٠	٣٠
المسموح بها	٢٥	٣٠	٢٥ - ٣٥	٢٥	٣٠	٢٥
اعلى سرعة يوصى بها v_{max} ، م/ثا	٤٠	٢٠ - ٣٠	٢٥	٣٠	٥٠	٥٠
الوزن النوعى γ ، kgf/dm^3	٠ر٩٨	١ر٢٥ - ١ر٥٠	٠ر٧٥ - ١ر٠٥	٠ر٩٠ - ١ر٢٤	≈ ١ر٢	≈ ١ر٠
الثابتان فى المعادلة (١٤ - ١٧) a	٢٩	٢٥	٢١	١٨	٢٣	٢١
w	٣٠٠	١٠٠	١٥٠	١٥٠	٢٠٠	١٥٠
معاير المرونة الحدى E ، kgf/cm^2	١٠٠٠-١٥٠٠	٨٠٠-١٢٠٠	٣٠٠-٦٠٠	-	١٠٠٠-١٢٠٠	-

* عند ١٠٠ كجم/سم^2 .

وللبكرات مختلفة الاقطار تكون زاوية المجرى * $\varphi = 34 \div 40°$. والقيمة المتوسطة لمعامل الاحتكاك المحول (عند φ = ٣٧°)

$$f' = \frac{f}{\sin\ 18.5°} \approx \frac{f}{0.32} \approx 3f$$

وبفضل هذا فاذا تساوت الظروف الاخرى ،لكان عنصر القوس من السير ذى المقطع (V) قادرا على نقل قوة محيطية اكبر بكثير مما يقدر على نقله العنصر من السير المسطح . وفى هذا تكمن الميزة الرئيسية للسيور ذات المقطع (V) بالمقارنة بالسيور المسطحة. الا ان استخدام هذه الميزة يحدها كون الضغط النوعى بين السير ذى المقطع (V) وبين مجراه اكبر بكثير من الضغط النوعى بين السير المسطح وبين اطار البكرة، ومع زيادة الضغط النوعى يزيد تآكل السير بالاحتكاك ويقل معامل احتكاكه ** .

والتصاميم الموجودة للسيور ذات المقطع (V) يمكن فى الاساس حصرها فى انواع ثلاثة : ذات الحبال المنسوجة، وذات الحبال ، والمسننة ذات الحبال .

والسيور ذات الحبال المنسوجة (الشكل ١٤-٥ ، أ) تتكون من عدة طبقات من النسيج الحبلى *** ١ الموجودة فى منطقة السد ، والمطاط ٢ فى منطقة الضغط، وغلاف ٣ من نسيج شبه مطاطى . والسيور ذات الحبال (الشكل ١٤ - ٥ ، ب) تتكون من عدة حبال متينة ١ موجودة فى منطقة التعادل من المقطع وبالتالى فهو لا تؤثر على جساءة الثنى للسير، وحشو مطاطى ٢ عالى المرونة فى منطقة الشد ، ومطاط اكثر صلابة فى منطقة الضغط، ومن غلاف ٣ . اما السيور المسننة ذات الحبال (الشكل ١٤ - ٥ ، جـ) فهى تختلف عن السيور ذات الحبال بوجود

---

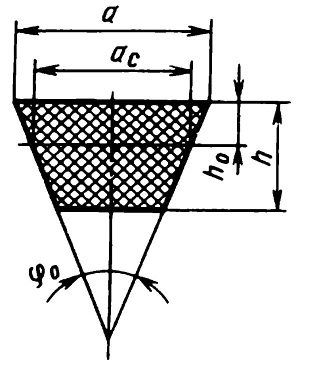
* لكى نتلافى انحشار السير فى مجراه، يجب ان تكون زاوية المجرى لبكرة السير ذى المقطع (V) اكبر من ضعف زاوية الاحتكاك $2 \arctan f$ وعندما يكون معامل الاحتكاك بين القماش شبه المطاطى وبين الحديد الزهر $f = 0.3$ ، يجب ان تكون $\varphi > 2\arctan\ 0.3 \approx 34°$.

** توضح الحسابات المقارنة انه بالنسبة للمقاطع القياسية للسيور ذات المقطع (V)، تكون النسبة بين الضغط النوعى وبين اجهاد الشد (الموزع افتراضا على كل مساحة مقطع السيور) ، تكون اكبر مما للسيور المسطحة بمقدار ٤ر٥ - ٥ مرات لذلك فان السيور ذات المقطع (V)تصبح غير صالحة للاستعمال لا بسبب قطعها ، بل بسبب تآكل اسطحها الجانبية بالاحتكاك .

*** بالفرنسية corde اى حبل او قيطان ، وهو خيط مبروم عالى المتانة مصنوع من الياف قطنية او اصطناعية .

اسنان في منطقة الضغط (وفي بعض الاحيان في منطقة الشد ايضا) وذلك لاكسابها مرونة كبيرة، وتكون الاخيرة ضرورية بشكل خاص في حالة التشغيل بسرعات عالية وفي حالة البكرات الصغيرة القطر.

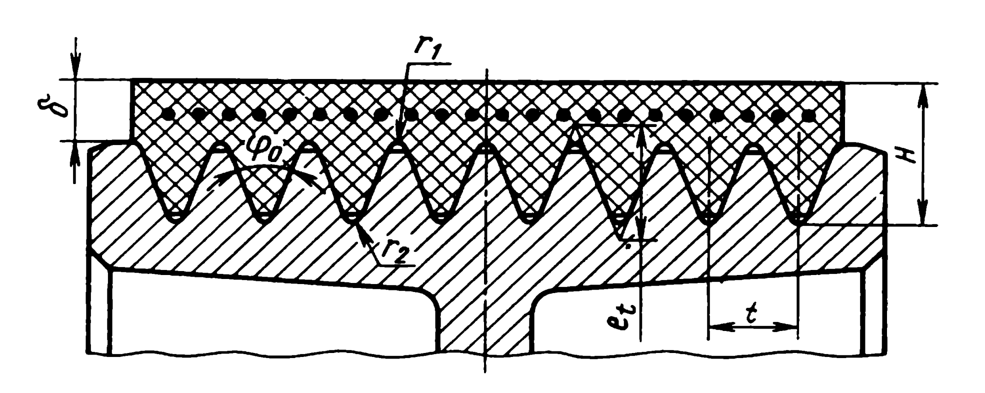
وتنتج في الاتحاد السوفييتي سيور من انواع ثلاثة: بمقطع اعتيادي فيها النسبة $\frac{a_{des}}{h} = 1.4$ (الشكل ١٤ - ٦)، وبمقاطع ضيقة وفيها $\frac{a_{des}}{h} = 1$ وعريضة وفيها $\frac{a_{des}}{h} > 2$. وتعتبر السيور من النوع الاول هي الاساسية، فهي قياسية بالنسبة لبناء الماكينات بصورة عامة وللماكينات الزراعية. والسرعات المسموح بها حتى ٣٠ مترا/ثانية للسيور ذات الحبال المنسوجة، وحتى ٥٠ مترا/ثانية للسيور ذات الحبال الفولاذية.



الشكل ١٤ - ٦

والسيور الضيقة تعتبر اكثر تقدما، وهي تحتوي على حبال عالية المتانة وتسمح التشغيل على سرعات تصل الى ٥٠ متر/ثانية، وبشد كبير وتتمتع بمقدرة اعلى بكثير على الجر، اذا ما قورنت بمثيلاتها من السيور ذات المقطع الاعتيادي. وبفضل هذا يقل عدد السيور وتقل مساحة مقاطعها، وعرض البكرات، طول الاعمدة خارج كراسيها، وانحناء الاعمدة، ويتحسن توزيع الحمل بين السيور.

والسيور ذات المقطع (V) المتكرر (الشكل ١٤ - ٧)، هي سيور مسطحة لانهائية ذات حبال ونتؤات على شكل حرف (V) في الجهة الداخلية. وهي بالمقارنة بالسيور ذات المقطع (V) الاعتيادية، تضمن ثباتا اكبر لنسبة نقل السرعة واهتزازا اقل.



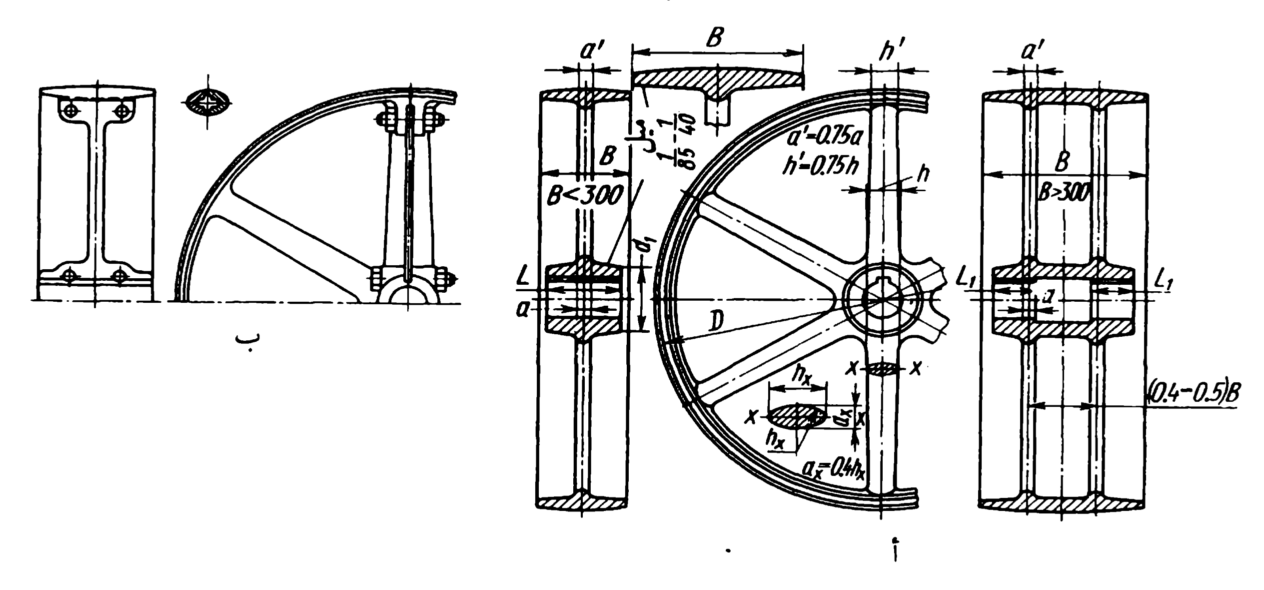
الشكل ١٤ - ٧

ولامثال وسائل نقل الحركة هذه يسمح للبكرات بالقطر الاصغر أن تصل سرعتها حتى ٥٠ متر/ثانية، ونسبة نقل السرعة تصل الى $i = 15$.

وتصنع السيور ذات المقاطع (V) وبعض السيور المسطحة الخاصة، مغلقة لانهائية، اما السيور الباقية (كل السيور المسطحة تقريبا)، فتصنع مفتوحة. ولكي تعمل في وسيلة نقل الحركة يلزم توصيل طرفيها. والوصلة من نوع تعتبر نقطة ضعف السير في العادة. اذ ان متانة وصلة

التناكب عند الشد لا تتعدى فى المعتاد ٣٠ - ٨٥ ٪ من متانة المقطع خارج منطقة التناكب . ومكان التناكب اكثر جساءة وفى بعض الاحيان اكثر وزنا أيضا من غيره من أجزاء السير الاخرى ، مما يؤدى الى حدوث صدمات على البكرات ثم الى اختلافات (تذبذبات) فى سرعة الحركة. لذا تكون اللحامات فى السير غير مرغوب فيها ، وفى بعض الحالات، مثل فى وسائل نقل الحركة الى عمود دوران ماكينات التشغيل الدقيقة، تكون غير مسموح بها.

بيد ان انتاج السيور اللانهائية اكثر تعقيدا وأعلى ثمنا من السيور المفتوحة. وعند تصميم وسائل نقل الحركة ذات السيور اللانهائية يكون من الضرورى المحافظة على مسافات معينة بين محورى البكرتين انطلاقا من الاطوال الموحدة قياسيا للسيور. ويتطلب الامر للسيور اللانهائية وجود تجهيزات خاصة للشد وكذلك وضع البكرات على اطراف كابولى للأعمدة، أو أن تكون كراسى المحاور سهلة الفك والتركيب وذلك لتركيب السيور . ولذلك، وعلى الرغم من المزايا المذكورة للسيور اللانهائية ،



الشكل ١٤ - ٨

فان السيور المفتوحة كبيرة الانتشار. ويتم التوصيل عن طريق اللصق ، والخياطة والتدبيس . والجدول ١٤ - ٤ يبين الطرق الاكثر انتشارا فى توصيل السيور.

البكرات . تتكون بكرة السير (الشكل ١٤ - ٨) من اطار وبرامق واذرع أو قرص ومن سرة . ويمكن تقسيم البكرات حسب اشكال سطح اطارها ، وحسب مواد تصنيعها وصياغة عناصرها تصميميا . ويتحدد شكل السطح العامل بواسطة نوع السير وظروف تشغيل وسيلة نقل الحركة.

وأفضل اشكال سطح اطار البكرة بالنسبة للسيور المسطحة هو ان يكون السطح أملس ومصقولا واسطوانى الشكل. ويصبح تآكل السير نتيجة لانزلاقه المرن الحتمى على هذا السطح ، أقل ما يمكن .

وأهم أبعاد البكرات ـ القطر D ، والعرض B

الجدول ١٤ - ٤

توصيلات السيور

أنواع الوصلات		متانة الوصلة بالنسبة لمتانة السير السليم ٪	أنواع الوصلات		متانة الوصلة بالنسبة لمتانة السير السليم ٪
التوصيل باللصق : بلاصق للجلد		٨٠ - ٨٥	التوصيل بالتدبيس: بالمسامير والاغطية بوصلة التناكب		٣٠
بلاصق للمطاط		٨٠ - ٨٥			
التوصيل بالخياطة: بشريط من الجلد الزفر		٣٠	بالمسامير والمشط		٢٥
بالأوتار الجلدية		٥٠	بالخطافات من السلك أو بحلزون بداخله قضيب		٥٠ - ٨٠

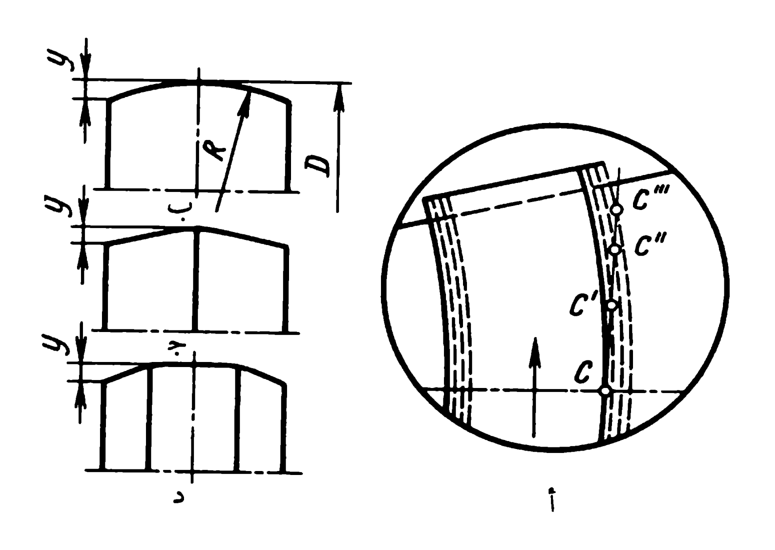
تبعـــــا لعرض السير b) ، وارتفاع تحدب الاطار y (انظـــــر اسفله) .

ولوسائل نقل الحركة بالسيور المصلبة وشبه المصلبة، وكذلك لنقـــــل الحركة التى فيها يتغير الحمل تغيرا فجائيا ، يكون عرض الـــبكـــرات $B = (1.5 \div 2.0)b$.

وفى حالة عدم توفر دقة التركيب يطرد السير المتحرك على بكـــرات غير متوازية من فوق اسطحها الاسطوانية. ولتلافى ذلك ينصح بصنع احدى البكرتين أو كليهما بسطح اطارها او اطاريها محدبا .

ويوضح فى الشكل ١٤ - ٩ ، أ عدة أوضاع متتابعة للنقطة c علـــى فرع سير يجرى فوق سطح مخروطى : يميل السير للزحف تجاه اليمين ، واذا كانت البكرة مكونة من سطحيـــن مخروطيين ، يثبت السير عنـــد وسط سطح البكرة.

وبالنسبة لشكل التحدب فى سطح اطار البكرة، فيمكن أن يكون على شكل قوس من دائرة (الشكل ١٤ - ٩ ، ب) ،أو علـى شكل مخروطين متلامسيـــــن متلاحمين بنعومة (الشكل ١٤ - ٩ ، جـ) . ولكن من الارشـــد اتخاذ الشكل الموضح فى الشكل ١٤-٩ ،د : الجزء الاوسط وهـو حوالى نصف عرض البكــــرة



الشكل ١٤ - ٩

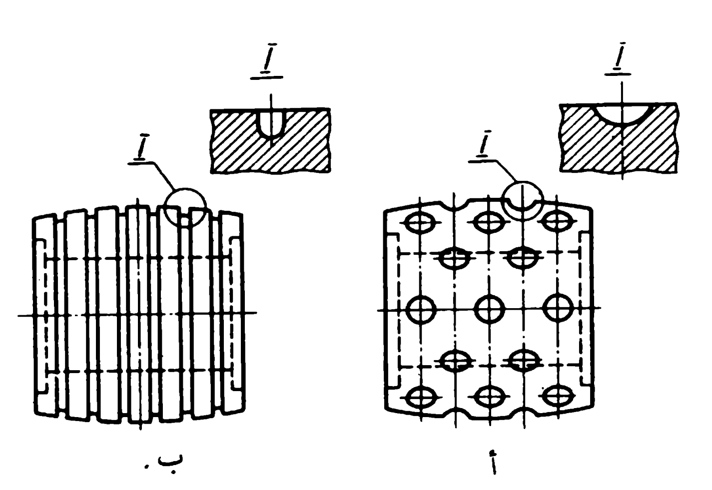
- اسطوانى ، اما الطرفين فقط مخروطيان او مرسومان على هيئة قوس مـن دائرة. وفى ذلك تتحسن الخصائص الموجهة فى اطار البكرة على حيـن تقل الاجهادات الاضافية فى السير الى النصف تقريبا .

ورغما عن ذلك يجب الأخذ فى الاعتبار انه نتيجة للتحدب فى اسطح البكرات يحدث تآكل اضافى فى السير ويقصر عمر خدمته . لذلك يجـــب استعمال البكرات ذات الاطارات المحدبة فقط فى وسائل نقل الحركـــــة المفتوحة وعلى العمود المنقاد ؛ وفى حالات السرعات الـعـالـيــــــة ($v > 20 \div 30$ m/sec) فقط يجب ان تكون البكرتان القائــــــدة والمنقادة محدبتين .

وزحف السير منحرفا الى احد الجانبين بما يصل الى الخروج التـام عن البكرة يعتبر حتميا تقريبا فى حالة الانزلاق التام. ولذلك اذا كـان الانزلاق التام محتمل الوقوع حسب طابع التحميل فى وسيلة نقل الحركــــة، واذا كان افلات السير من البكرة غير مسموح به (بسبب خطورة اصابـــــة السير أو لاسباب أخرى) ، يجب تزويد بكرات مثل هذه الوسائـــل لنقل الحركة بحافة بارزة أو حافتين. والحافتان البارزتان تمنعان افلات

السير فقط فى حالة الانزلاق التام. اما اثناء التشغيل الاعتيادى فيثبت السير على البكرة بفضل التركيب الدقيق لكلتا البكرتين وكذلك بفضل استخدام اطار محدب والاحتكاك المستمر بين السير والحافة البارزة للبكرة يقلل من عمر خدمة الأول.

وفى وسائل نقل الحركة السريعة يتوجب مراعاة تأثير امتصاص الهواء فى التجويف الاسفينى بين فرع السير وبين البكرة من جهة الدخول. ونتيجة لهذه الظاهرة تقل زاوية التماس ويسوء التصاق السير مع البكرة. ولتلافى هذا العيب تستخدم بكرات تحتوى اسطحها على تجويفات كروية (الشكل ١٤ - ١٠، أ) - وفى هذه الحالة تستغل ظاهرة الامتصاص بالخلخلة عندما يطرد الهواء بسرعة من الفجوات، أو تستخدم بكرات ذات قنوات حلقية باعماق غير كبيرة (الشكل ١٤- ١٠، ب) وذلك لا خراج الهواء المحبوس تحت السير.



الشكل ١٤ - ١٠

وفى حالة السيور ذات المقطع (V)، يكون السطح العامل فى قنواتها من نفس المقطع والمشكلة فى اطار البكرات هما سطحى القناة الجانبيين. وأبعاد وعدد هذه القنوات تتحدد بشكل السير المختار وبالعدد الحسابى للسيور (أنظر ص ٢٤٠). وتعين هذه الابعاد بحيث لا يمس السير قاع القناة وبحيث لا يرتفع عنها. ويتغير شكل مقطع السير عندما يتعرض للثنى، حيث تتغير زاوية المقطع بالمقارنة بالزاوية الابتدائية ($\varphi_0 = 40°$)، لذلك تعين زاوية القنوات على البكرة تبعا لقطرها.

وحيث أن تغير زاوية شكل المقطع، وكذلك وضع الطبقة المتعادلة فى مقطع السير يعتمدان على تصميم السيور وخواصها فان ابعاد القنوات فى البكرات تحدد جنبا الى جنب مع شكل السيور من قبل من يصنعون الاخيرة. وبالنسبة للسيور ذات المقاطع (V) فان ابعادها ترد فى المواصفات القياسية (الشكل ١٤ - ١١، والجدول ١٤ - ٥) وفى وسائل نقل الحركة بواسطة عدة سيور تتحدد المشاركة المتساوية لكل السيور فى العمل، قبل كل شئ بواسطة تساوى الاقطار الحسابية لكل القنوات وتساوى اطوال كل السيور، ولذلك يجب أن تكون ابعاد القنوات فى الرسوم الهندسية للبكرات محددة بالسماحات (allowances).

وحسب طريقة تصنيع البكرات وموادها، تقسم بكرات السيور الى بكرات مسبوكة من الحديد الزهر والالومينيوم وسبائكه او من اللدائن (البلاستيك)، وبكرات ملحومة من الصلب. واختيار هذه المادة او تلك لصنع البكرة

يتحدد قبل كل شيء بالعدد المطلوب من البكرات وبقطرها وبسرعتها المحيطية.

وحظت بأوسع استخدام البكرات المصنوعة من الحديد الزهر، علما بأنها تصنع فى حالة الاقطار الصغيرة على شكل اسطوانة مصمتة، اما بالنسبة للاقطار المتوسطة فتتصل السرة بالاطار عن طريق قرص، وللاقطار الكبيرة توصل السرة بالاطار بواسطة برامق. والشكل ١٤ - ٨، أ يحتوى على ابعاد عناصر البكرات المصنوعة من الحديد الزهر، والتى وضعت على أساس الخبرة العملية.

الشكل ١٤ - ١١

وعند حساب متانة البكرات المصنوعة من الحديد الزهر، يقتصر فى العادة على تعيين الاجهادات الناتجة من تأثير قوى الطرد المركزى فى الاطار، وأبعاد مقطع البرامق من الحساب على الثنى.

والاجهادات فى الاطار الحلقى الرقيق، الناتجة من تأثير قوى الطرد المركزى تحدد بنفس الطريقة المستخدمة للسير [انظر المعادلة (14.4)] :

$$\sigma = \frac{\gamma v^2}{10g} \leqslant [\sigma]_t,$$

ومن هنا فان اكبر سرعة محيطية مسموح بها للاطار المصنوع من المادة المعنية :

$$v_{max} \approx 10\sqrt{\frac{[\sigma]_t}{\gamma}} \text{ m/sec}$$

وبناء عليه فان v_{max} لا تعتمد على ابعاد الاطار بل انها تتحدد فقط بالوزن النوعى لمادة الاطار γ بالكجم/ديسيمتر مكعب وبالاجهاد المسموح به فى حالة الشد $[\sigma]_t$ (بالكجم/سم^2). واستخدام البكرات المصنوعة من الحديد الزهر يتحدد بالسرعة المحيطية فى حدود ٣٠ - ٣٥ مترا/ثانية. والبكرات ذات السرعة المحيطية حتى ٢٥ مترا/ثانية تسبك من حديد زهر ماركة C4 12 - 28 وللسرعات من ٢٥ الى ٣٠ مترا/ثانية يستخدم الحديد الزهر C4 15 - 32 ، وللسرعات من ٣٠ الى ٣٥ مترا/ثانية يستخدم الحديد الزهر C4 21 - 40 .

ويبلغ عدد البرامق فى البكرات التى تصل اقطارها الى ٥٠٠ مم، ٤ برامق، وللبكرات ذات الاقطار حتى ٦٠٠ مم - ٦ برامق، وللاقطار حتى ٢٠٠٠ مم - ٨ برامق. وعندما يكون عرض الاطار ($B \leqslant 300$ mm) تصف البرامق فى صف واحد، وعندما يزيد عرض الاطار عن ذلك فتصف فى صفين.

الجدول ١٤ - ٥ السيور ذات المقطع (V)

المواصفات الاساسية		مقاطع السيور: المقطع العرضى (الشكل ١٤ - ٦) O	A	B	C	D	E	F
مساحة المقطع (F) بالسم ٢		٠ر٥	٠ر٨	١ر٤	٢ر٣	٤ر٨	٧ر٠	١١ر٧
طول السير الحسابى أو الداخلى* الذى تضمنه المواصفات القياسية بالمم	الحد الادنى	٥٠٠*	٥٠٠*	٦٣٠*	١٨٠٠	٣١٥٠	٤٥٠٠	٦٣٠٠
	الحد الاقصى	٢٥٠٠	٤٠٠٠	٦٣٠٠	٩٠٠٠	١١٠٠٠	١٤٠٠٠	١٤٠٠٠
الفرق بين الطولين الحسابى والداخلى بالمم		٢٥	٣٣	٤٠	٥٩	٧٦	٩٥	١٢٠
الاقطار الحسابية الدنيا المسموح بها للبكرة بالمم		٦٣	٩٠	١٢٥	٢٠٠	٣١٥	٥٠٠	٨٠٠
الثابتان فى المعادلة (14.7)	a	٢٣	٢٥	٢٨	٣٠	٣٢	٣٢	٣٢
	w	١١٠	١٢٠	١٨٠	٢١٥	٢٨٠	٣٥٠	٤٤٠
السرعة القصوى (v_{max} m/sec) المقترحة		٢٥	٢٥	٢٥	٢٥	٣٠	٣٠	٣٠
عرض السير الحسابى a_{des} بالمم		٨ر٥	١١	١٤	١٩	٢٧	٣٢	٤٢
الحد الادنى h ،مم		١٠	١٢ر٥	١٦	٢١	٢٨ر٥	٣٤	٤٣
h_0 ،مم		٢ر٥	٣ر٥	٥	٦	٨ر٥	١٠	١٢ر٥
الابعاد المقدرة للقناة (زاوية القناة φ_0 تختار تبعا لقطر البكرة، وألقطر الاصفر تقابله الزاوية الصفرى)	t	١٢	١٦	٢٠	٢٦	٣٧ر٥	٤٤ر٥	٥٨
	s	٨	١٠	١٢ر٥	١٧	٢٤	٢٩	٣٨
	φ_0		٢٤ - ٤٠			٣٦ - ٤٠		٣٨-٤٠

وتحسب مقاطع البرامق عند اتصالها بالسرة، على الانحناء ، حسب العزم الافتراضى $PD/2$ الموزع على ثلث عدد البرامق .

وفى بعض الحالات تصنع بكرات الحديد الزهر من نصفين (مثلا من أجل تركيبها على العمود بين كرسيى المحور أو القوابض بدون فك الاخيرة) . وأفضل خط الانفصال يصنع فى البرامق، ولذلك يجب أن يكون عدد البرامق زوجيا . وتصنع البرامق التى يمر بها خط الانفصال (الشكل ١٤ - ٨، ب) بحيث يزيد المحور الاكبر للمقطع العرضى بنسبة ٣٠ - ٤٠ ٪ . اما المحور الاصغر فهو متساو لكل البرامق . ومسامير الرباط (وغالبا ما تكون مسامير جويط) توضع بأقرب ما يمكن من العمود ومن مركز ثقل الاطار لتجنب اجهادات الانحناء فى اماكن الانفصال بقدر الامكان .

وفى وسائل نقل الحركة السريعة التى توقف وتدار بعدد كبير من المرات، او عموما فى تلك التى تتغير فيها السرعة، تستخدم بكرات من سبائك الالومينيوم . وتلك البكرات تسمح بتخفيض فاقد الطاقة عند تسارع الحركة وكبحها بالمقارنة ببكرات الحديد الزهر، حيث يكون الفاقد متناسبا مع النسبة بين الوزنين النوعيين (وهو للحديد الزهر اكبر ب ٢ر٥-٢ر٧ مرة) او تسمح برفع سرعة نقل الحركة بنسبة الجذر التربيعى للنسبة بين الوزنين النوعين (٦٠٪ - ٦٥٪) مع ثبات الفاقد فى الحالتين .

وبغرض رفع درجة الامان فى وصلة البكرة مع العمود فان البكرات المصنوعة من السبائك الخفيفة والعاملة تحت ظروف صعبة (أحمال صدمات، أو تكرار عكس الحركة .. وما الى ذلك) تكون ثنائية المعدن، اى مصنوعة من معدنين مختلفين : الاطار من سبيكة خفيفة، والسرة من الحديد الزهر . وفى البكرات ثنائية المعادن وكبيرة الاقطار يمكن تخفيض وزنها بالمقارنة مع البكرات المصنوعة من الحديد الزهر بما يصل الى ٦٠ ٪ . وبطريقة مماثلة تسلح البكرات المصنوعة من اللدائن (البلاستيك) .

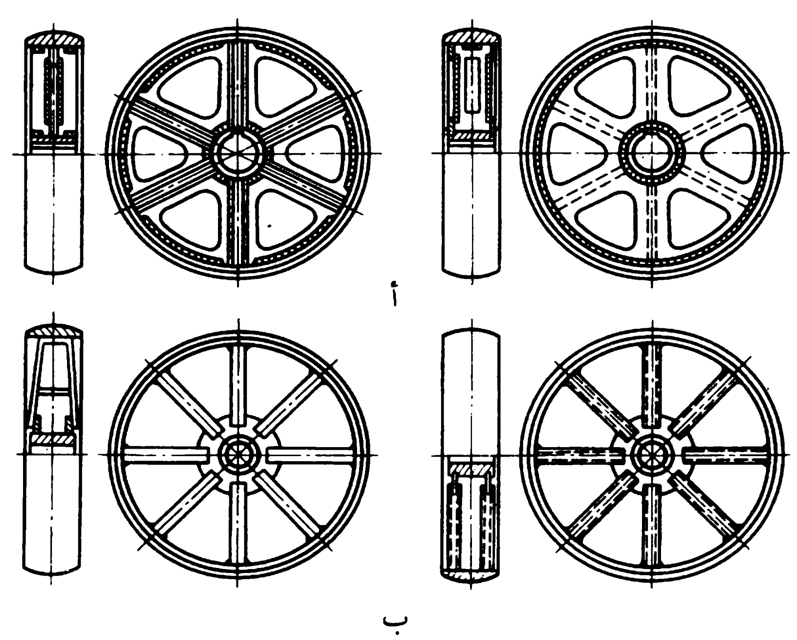
والبكرات اللازمة للماكينات الخاصة، التى تعد الاحتياجات منها بالآحاد ، يفضل صنعها بواسطة اللحام، وذلك من وجهة النظر الاقتصادية . وفى هذه الحالة تنتفى الحاجة لبذل مصروفات لصنع قوالب لسباكة تلك البكرات ، كما وتنخفض المدة اللازمة لتصنيعها . وعلاوة على ذلك فان البكرات الملحومة ذات الاقطار ٥٠٠ مم واكثر، تكون أخف من البكرات المسبوكة من الحديد الزهر .

والبكرات الملحومة يصنع اطارها من شرائح من الصلب تلف دائريا، أما السرر فتصنع من مقطع دائرى مدلفن او بواسطة التشكيل بالطرق . وتربط السرر بالاطارات فى المعتاد بواسطة اقراص: قرص واحد عندما يكون عرض الاطار حتى ٣٥٠ مم، وقرصان الاطار الاعرض من ذلك . ولغرض تقليل وزن الاقراص تقطع فيها فتحات اما دائرية او على شكل ثمرة الكمثرى ، وبغرض زيادة جساءتها تلحم فيها ضلوع (الشكل ١٤-١٢ ، أ) . وفى بعض الاحيان تستبدل الاقراص بالبرامق المصنوعة من صلب

شرائح او من ماسورات (الشكل ١٤ - ١٢ ، ب). والبكرات ذات البرامق أخف، الا انها تتكون من عدد كبير من الاجزاء لذلك فهى اصعب فى انتاجها من البكرات ذات الاقراص.

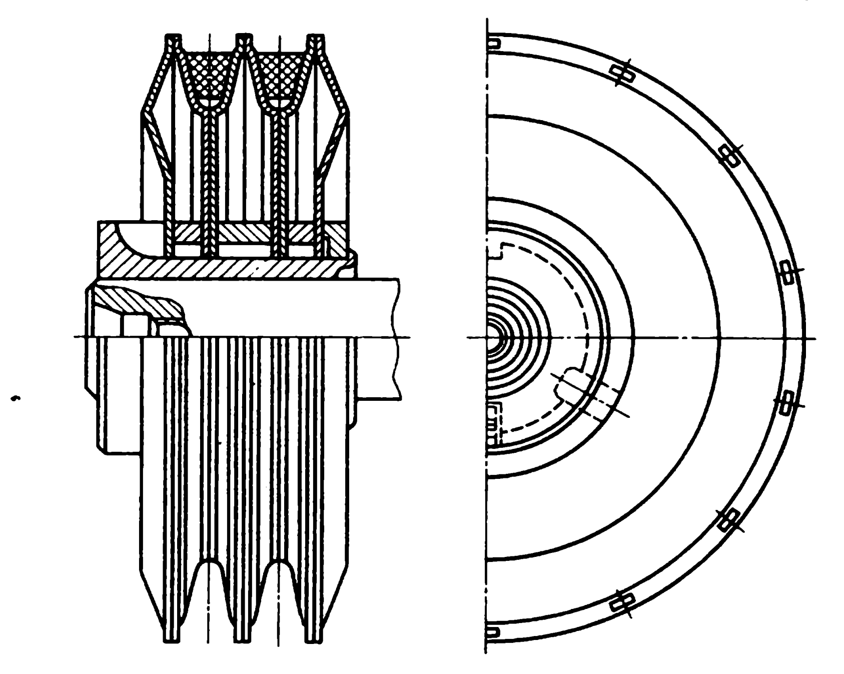
ويستخدم الصلب Cт.5 لصناعة السرة. أما الاقراص الاطار فتصنع من الصلب Cт.3 .

وتحسب فى البكرات الملحومة كل من الاطار والاقراص او البرامق واللحامات الموصلة بين تلك العناصر بعضها البعض وبينها وبين السرة.



الشكل ١٤-١٢

والبكرات الخاصة بالسيور ذات المقطع (V) والمنتجة بالجملة، تصنع فى بعض الاحيان عن طريق لحام عدة اقراص مشكلة بالكبس (الشكل ١٤ - ١٣). وتعتبر المرونة فى الاتجاه المحورى احدى الصفات الايجابية لهذه البكرات.



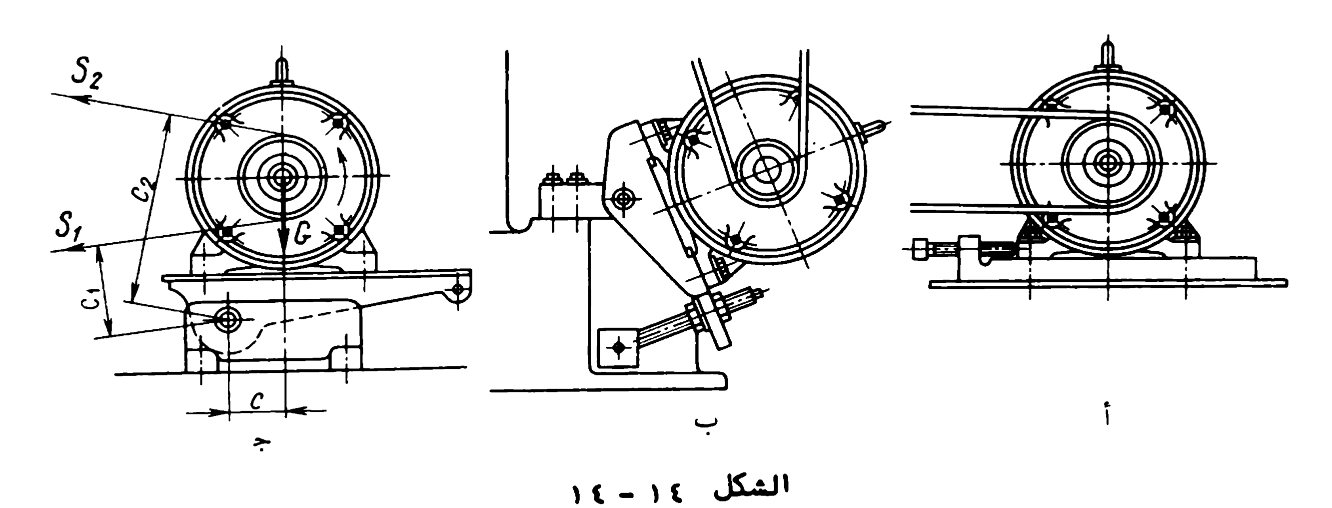
الشكل ١٤-١٣

وبفضل ذلك يوزع الحمل بين السيور باكثر انتظام من حالة البكرات ذات الاطار المسبوك الجاسئ .

ويعتبر تشغيل القنوات (المجارى) وخصوصا اذا كان عددها كبيرا والدقة المطلوبة من التشغيل عالية، هى اكثر الاعمال حجما فى تصنيع بكرات السيور ذات المقطع (V). وفى احوال الانتاج بالجملة أو بالدفعات الكبيرة فان استعمال البكرات المصنوعة من البلاستيك (من الالياف أو المساحيق المكبوسة أو اللدائن من نشارة الخشب أو التكستوليت) فائدة اقتصادية كبيرة. وفى هذه الطريقة تنتج القنوات بدقة وبنظافة بدون اجراء عمليات قطع اضافية.

التجهيزات الشادة . ويمكن تقسيمها حسب تركيبها ومبدأ عملها الى ثلاث مجموعات: تركيبة السرج (saddle)، واللوحات المفصلية، والبكرات والتجهيزات الشادة والضاغطة ذات التحكم الآلى فى الشد .

وفى ابسط انواع التجهيزات الشادة يدور المحرك الكهربى مع البكرة القائدة على سرج (الشكل ١٤ - ١٤، أ)، أو يتأرجح حول محور (الشكل ١٤ - ١٤، ب). ويتم التوصل الى الشد الابتدائى الثابت بطريق تثبيت



الشكل ١٤ - ١٤

المحرك الكهربى على سرج مفصلى (الشكل ١٤ - ١٤، ج) له ذراع (c) يحسب من معادلة الاتزان :

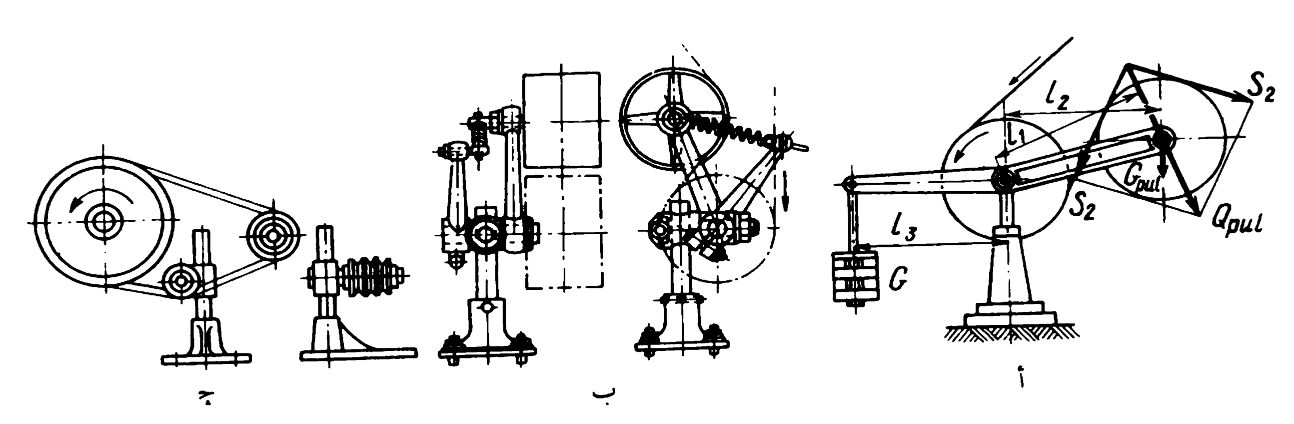
$$Gc = S_2c_2 + S_1c_1$$

أو عند الضرورة يحمل السرج تحميلا اضافيا بواسطة ياى أو ثقل .

والبكرات الشادة (الشكل ١٤ - ١٥) تستخدم فى وسائل نقل الحركة ذات المسافة الثابتة بين محورى بكرتيها. والبكرة الشادة عبارة عن بكرة تدور بحرية ذات اطار أملس ومنضغط على السطح الخارجى للفرع المنقاد من السير بالقرب من البكرة الاصغر. وفى وسائل نقل الحركة ذات البكرة الشادة تزيد زاوية التماس بين السير والبكرة الصغرى، ويتحسن عمل وسيلة نقل الحركة ذات نسبة نقل السرعة الكبيرة فى حالة المسافة

الصغيرة بين محورى العمودين . ولكن البكرة الشادة تحدث ثنيا اضافيا في السير علما بان هذا الثنى يكون فى عكس الاتجاه، مما يعجل كثيرا من انقطاعه . وتحل هذه المسألة فى وسائل نقل الحركة بالسيور ذات المقطع (V) بدون البكرة الشادة، لذلك فان استخدام الاخيرة قد تقلص كثيرا .

وحيث أن التأثير الضار للانحناء يكون اكبر كلما كان نصف قطر الانحناء أقل ، وكلما كان عدد تغير الاجهادات اكبر، فان قطر البكرة الشادة D_{pul} يجب الا يقل عن القطر D_{min} للبكرة الصغرى فى وسيلة نقل الحركة ؛ والمسافة A_{pul} بين محورى البكرة الشادة،



الشكل ١٤ - ١٥

وأقرب البكرات اليها (فى العادة البكرة الصغرى) يجب الا تقل كثيرا ، ويفضل أخذ القيمة $A_{pul} \geqslant D_{min} + D_{pul}$.

يجرى اختيار محور تأرجح البكرة الشادة بحيث تزيد زاوية تماس السير عند سحبه ويبقى الشد فيه بدون تغيير . وضغط البكرة الشادة اللازم على السير يولد بواسطة ثقل (الشكل ١٤ - ١٥ ، أ) أو بواسطة ياى (الشكل ١٤ - ١٥ ، ب) .

وقيمة الثقل G (أو جهد الياى) تتحدد من معادلة الاتزان

$$Gl_3 - G_{pul}\, l_2 - Q_{pul}\, l_1 = 0,$$

حيث G_{pul} - وزن البكرة الشادة ؛

l_1, l_2, l_3 - الاذرع التى تتحدد من الرسم البيانى لوسيلة نقل الحركة الذى تم وضعه حسب مقاس معين ؛

$Q_{pul} = \overline{S}_1 + \overline{S}_2 = 2S_2 \sin\frac{\alpha_{pul}}{2}$ - الحمل على البكرة الشادة الناتج من شد السير ؛

α_{pul} - زاوية تماس السير مع البكرة الشادة.

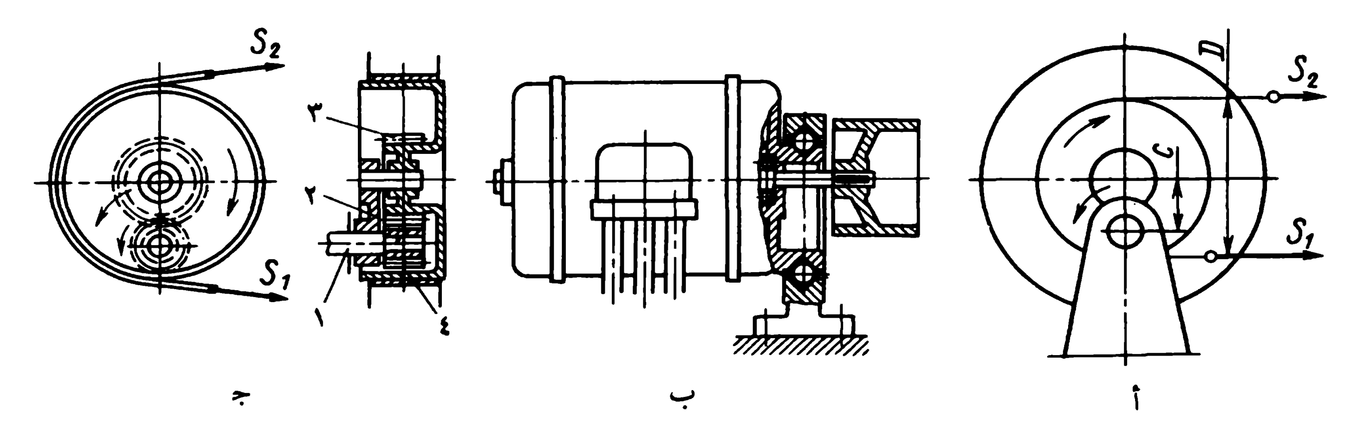
وتزود البكرات الشادة فى وسائل نقل الحركة التى يتغير فيها الحمل فجأة ، بمخمدات لتخميد اهتزاز المجموعة.

وفى وسائل نقل الحركة ذات السيور بمقطع (V) ، لا تنجم فى المعتاد ضرورة زيادة زاوية التماس . ويحتاج للبكرات الشادة هنا

لشد السيور فقط . ويتم التوصل الى ذلك بتركيب بكرات ضاغطة ذات قنوات على شكل مقطع (V) للسيور (الشكل ١٤ - ١٥ ، جـ) ، علما بأن السير يتعرض لانحناء فى اتجاه واحد مما يساعد على زيادة عمر خدمه. وفى احوال الضرورة يلجأ هنا الى تركيب بكرات ضاغطة اعتيادية ذات سطح املس .

والتجهيزات الواردة اعلاه (السرج واللوحات المفضلية) تسمح بخلق شد ابتدائى ثابت فى السير وبالمحافظة على هذا الشد . أما البكرات الشادة فتوفر شدا ثابتا فى الفرع المنقاد من السير. بينما تكون محاولة التوصل الى شد منظم اوتوماتيكيا (فى هذه الحالة يكون شد السيور) يستجيب للحمل الفعلى فى وسيلة نقل الحركة، ما هى سوى محاولة عامة فى مجال تطوير تصاميم وسائل نقل الحركة بالاحتكاك . وتستخدم هذه التجهيزات فى السنوات الاخيرة بشكل واسع فى وسائل نقل الحركة بالسيور.

والمبدأ العام فى عمل هذه التجهيزات (الشكل ١٤ - ١٦ ، أ) ينحصر فى استخدام عزم رد الفعل للعضو الثابت فى المحرك الكهربى أو



الشكل ١٤ - ١٦

للعجلة المسننة. وعندما يدور عضو دوار المحرك الكهربى مع بكرته فى اتجاه عقارب الساعة، فان عضوه الثابت والتأرجح حول محور ينحرف بمقدار (c) عن محور العمود ، يسعى تحت تأثير عزم رد الفعل الى الدوران ضد اتجاه عقارب الساعة. وحينئذ ينحرف محور العضو الدوار مع بكرته الى اليسار ، وتزيد المسافة بين المركزين ويشد السير.

ومن معادلة اتزان المجموعة (الشكل ١٤ - ١٦ ، أ)

$$S_1\left(\frac{D}{2} - c\right) = S_2\left(\frac{D}{2} + c\right),$$

يتضح انه من الممكن دائما اختيار قيمة c (المسافة بين محور دوران العضو الدوار ومحور تأرجج العضو الثابت) بحيث أن تضمن النسبة بين الشدين $\frac{S_1}{S_2}$ عمل وسيلة نقل الحركة بدون انزلاق. علما بأنه مع تغير الحمل - السكون ، وبدء الدوران ، والعمل ، والعمل بدون حمل - سوف يتغير تبعا لذلك الشد فى فرعى السير.

وانطلاقا من المبدأ العام الموصوف اعلاه، فان تركيبات التجهيزات الشادة يمكن صياغتها بطرق مختلفة. ففى التركيبة الموضحة فى الشكل (١٤-١٦، ب) يزود الغطاء الامامى للعضو الثابت فى المحرك الكهربى، بقرص لامركزى به قناة (مجرى) للكريات. ويركب القرص على قاعدة لها مجرى مماثل. وينتج الشد فى السير بعزم رد الفعل المؤثر على العضو الثابت فى المحرك الكهربى.

ويوضح الشكل (١٤-١٦، جـ) تركيبا آخر. فعلى عمود المحرك الكهربى (١) يركب بواسطة خابور الترس القائد (pinion) (٤) وحلقة حرة تتحرك مفصليا (٢) يدور على محورها الترس المنقاد (٣) وبكرة مثبتة تثبيتا جاسئا. وعند دوران العضو الدوار للمحرك الكهربى ضد اتجاه عقارب الساعة والبكرة مع عقارب الساعة، يؤثر على الحلقة المتأرجحة عزم ناتج من الجهد المحيطى فى الترس (٤) متجه ضد عقارب الساعة وينتج فى السير، شدا متناسبا مع الحمل المنقول.

حساب وسائل نقل الحركة بالسيور

انواع الاعطاب ومعايير الحساب: يعتبر قطع السير بسبب الكلال هو النوع الرئيسى لاعطاب السير، والكلال سببه طابع تغير الاجهادات الموضح فى الشكل ١٤-٤. ولهذا السبب فان متانة الكلال للسير تحدد عمره. وتحليل العلاقة (14.13) يوضح أنه بالنسبة لوسائل نقل الحركة العادية بالسيور (عندما تكون $v \leqslant 30$ m/sec) تكون اجهادات الثنى - فى قيمتها - هى الاجهادات الاساسية، لذلك يتحدد عمر السير بهذه الاجهادات قبل غيرها.

وعندما تكون مقدرة لسير على الجر منخفضة فان السير ينزلق ويختل بذلك العمل الطبيعى لوسيلة نقل الحركة.

وعلى ذلك تعتبر المقدرة على الجر التى تحدد مدى الامان فى تعشيق السير مع حافة البكرة، وعمر السير الذى يعتمد على متانته الكلالية عند توفر الظروف الطبيعية للاستخدام، تعتبران المعيارين الاساسيين فى حساب نقل الحركة بالسيور.

والهدف من حساب وسيلة نقل الحركة بالسيور بالمعنى الضيق يعتبر تعيين ابعاد السير الناقل للحركة (او السيور) حسب الشروط عمل المعطاة. ومن هذا الحساب تستنتج الاحمال والابعاد الاساسية لتصميم اجزاء وسيلة نقل الحركة - البكرات، والتجهيزات الشادة والاعمدة وكراسى المحاور.

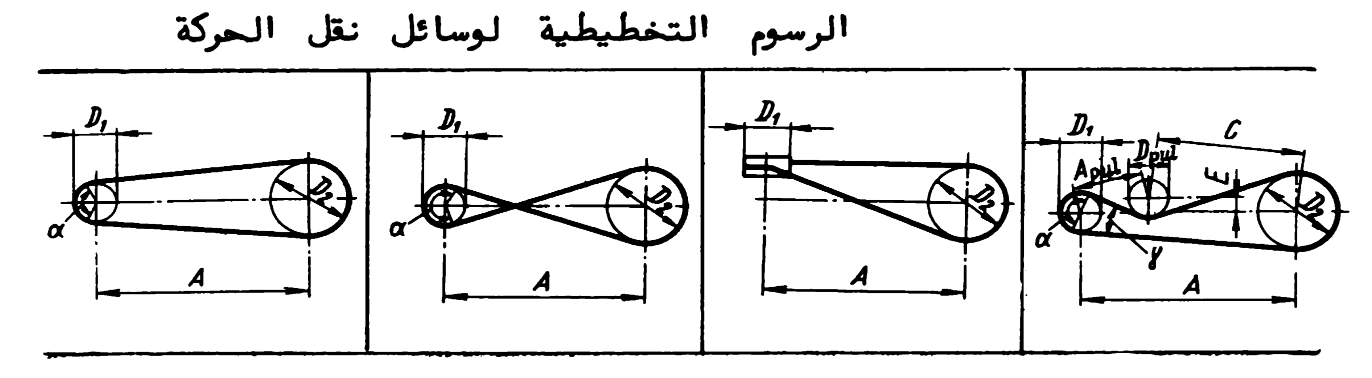
الحساب الهندسى. يدخل كل من زاوية التماس α بين السير والبكرة الصغرى، وطول السير L، فى عداد المقادير الابتدائية لحساب السير. ويرتبط هذان المقداران بالمسافة بين محورى البكرتين A

وبقطريهما D_2 ، D_1 بنسب هندسية بسيطة. وقيم α, L لاكثر وسائل نقل الحركة انتشارا، واردة فى الجدول (١٤ - ٦). أما بالنسبة لوسائل نقل الحركة الاكثر تعقيدا، وخصوصا بالنسبة لوسائل نقل الحركة التى تحتوى على بكرتين منقادتين أو اكثر، يمكن تعيينها بابسط ما يمكن وبدقة كافية بواسطة الرسم التخطيطى لوسيلة نقل الحركة المرسوم بمقياس رسم معلوم.

الجدول ١٤ - ٦

الرسوم التخطيطية لاكثر وسائل نقل الحركة بالسيور انتشارا

الرسوم التخطيطية لوسائل نقل الحركة



زاوية التماس بين السير والبكرة الصغرى			
$\alpha \approx 180^\circ - \frac{D_2 - D_1}{2A} 60^\circ + \frac{D_1 + D_{pul} - 2E}{2A_{pul}}$	$\alpha \approx 180^\circ + \frac{D_1}{A} 60^\circ$	$\alpha \approx 180^\circ + \frac{D_2 + D_1}{A} 60^\circ$	$\alpha \approx 180^\circ - \frac{D_2 - D_1}{A} 60^\circ$
الطول الهندسى للسير (بدون حساب الشد والارتخاء)			
$L = (A + A_{pul} + C) + \frac{\pi}{2}(D_2 + D_1) + \frac{(D_2 - D_1)^2}{8A} + \frac{(D_2 + D_{pul})^2}{8A} + \frac{(D_1 + D_{pul})^2}{8C} - \frac{E}{A_{pul}}\left(\frac{D_1 + D_{pul}}{2}\right) - \frac{E}{C}\left(\frac{D_2 + D_{pul}}{2}\right)$	$L = 2A + \frac{\pi}{2}(D_1 + D_2) + \frac{D_1^2 + D_2^2}{2A}$	$L = 2A + \frac{\pi}{2}(D_2 + D_1) + \frac{(D_1 + D_2)^2}{4A}$	$L = 2A + \frac{\pi}{2}(D_2 + D_1) + \frac{(D_2 - D_1)^2}{4A}$

وتتحدد اقطار البكرات وسيلة نقل الحركة بواسطة الابعاد المخصصة لتركيب وسيلة نقل الحركة، وبنسب نقل السرعات المطلوبة، وبالقطر الادنى للبكرة الاصغر، الذى يتحدد من جهة بالنسبة $\frac{h}{D_{min}}$ ، ومن جهة أخرى ب v_{max} لنوع السير المعنى . ويجرى حساب اقطار البكرات بالنظام التالى :

١ - انطلاقا من نوع السير المختار وسمكه h ، يعين القطر الاصغر الموصى به للبكرة (انظر الجدول ١٤ - ٣ والجدول ١٤ - ٥) وليكن مثلا القطر القائد D_1 .

٢ - يعين قطر البكرة المتزاوجة الثانية باستخدام النسبة (14.6) .

٣ - من D_1 ، D_2 ، والمسافة A بين محورى البكرتين التى يحددها تصميم الماكينة، ترسم وسيلة نقل الحركة بمقياس رسم معين مع الأخذ فى الاعتبار مواضع تجهيزات الشد ، ثم تقارن الابعاد الناتجة مع الابعاد المعطاة .

٤ - واذا سمحت الابعاد المعطاة، يجب زيادة قطرى البكرتين ، وذلك لزيادة المقدرة على الجر ولزيادة عمر السير، على ان تكون هذه الزيادة بمقدار لا يتعدى اقصى سرعة مفضلة لنوع السير المعنى (انظر الجدولين ١٤ - ٣ و ١٤ - ٥) .

٥ - يلزم عند اختيار اقطار البكرات، الاسترشاد بالمواصفة القياسية الخاصة ببكرات السيور، مع تقريب القيم الحسابية وهى فى العادة D_1 - لاقرب قيمة اكبر، D_2 - لاقرب قيمة اصغر.

<u>حساب المقدرة على الجر.</u> يعتبر الشد الابتدائى S_0 ، اهم العوامل المحددة لمقدرة وسيلة نقل الحركة - على الجر.

ومن العلاقات (14.10) (14.9) (14.7)

$$P = 2\varphi S_0; \qquad k = 2\varphi\sigma_0 \qquad (14.15)$$

ومن الواضح ان k تزيد بالتناسب الطردى مع σ_0 ، لذلك يكون من الانفع اختيار اكبر قيم ممكنة ل σ_0 . ولكن الخبرة تؤكد على وجود قيمة مثلى معينة ل σ_0 . فاذا كان السير مشدودا باجهاد اكبر من σ_0 ، فبعد عدة ساعات من الشغيل، نتيجة لسحب السير، فان الاجهاد يقل مع ذلك حتى يصل الى تلك القيمة تقريبا . وانطلاقا من هذه الخاصية للسيور (التى يفسرها بناؤها الليفى) يكون من غير المجدى زيادة الاجهاد الابتدائى اعلى من قيمة $\sigma_0 = 18$ kgf/cm² لكل السيور المسطحة ، $\sigma_0 = 12 \div 18$ kgf/cm² للسيور الاعتيادية، $\sigma_0 = 30 \div 35$ kgf/cm² للسيور الضيقة ذات المقطع (V) . وقيم الاجهادات هذه تم الحصول عليها تجريبيا تحت الشروط التالية: وسيلة نقل الحركة بالسير المفتوح والبكرات من الحديد الزهر، والحمل ثابت ، وسرعة السير $v = 10$ m/sec ، وزاوية التماس $\alpha = \pi$ ، ومعامل الجر $\varphi = \varphi_0$. وكانت القيمة k_0 هى قيمة الاجهاد النافع المناظرة لهذه البارامترات.

ويجرى اعادة حساب قيم الاجهاد النافع للظروف المغايرة للظـــروف المذكورة ، حسب العلاقة :

$$k = k_0 C_0 C_v C_\alpha C_{con} \tag{14.16}$$

حيث C_0 ـ معامل يأخذ فى الاعتبار ظروف شد السير (الجدول ١٤-٧) ؛
C_v ـ معامل يأخذ فى الاعتبار انحراف سرعة وسيلة نقل الحركـة موضع التصميم عن القيمة $v = 10 \text{ m/sec}$ (الجدول ١٤ - ٨) ؛
C_α ـ معامل زاوية التماس، ويأخذ فى الاعتبار انحراف زاوية التماس عن القيمة $\alpha = \pi$ (الجدول ١٤ - ٩) ؛
C_{con} ـ معامل نظام التشغيل وديناميكية الحمل (الجدول ١٤ -١٠) .

وتعتمد مقدرة الجر فى السير ايضا على اجهادات الثنى فى السيـــر وعلى الضغط النوعى بين السير وبين حافة البكرة، والاولى تؤثر على سحب السير. أما الثانى فعلى التصاق السير بالبكرة. وهذه التأثيرات تؤخـــذ فى الاعتبار فى الصيغة

$$k_0 = a - \omega \frac{h}{D} \tag{14.17}$$

حيث a ، w ـ ثابتان يتم الحصول عليهما بالطرق التجريبيـــــة وقيمهما للانواع المختلفة للسيور واردة فى الجدولين (١٤ -٣) و(١٤-٥) .

وبعد تعيين قيمة k_0 من الصيغة (14.17) ، و k من الصيغـة (14.16) ، يمكن ايجاد عرض السير المسطح

$$b = \frac{P}{kh} \tag{14.18}$$

تؤل القيمة b الى اقرب قيمة قياسية.

وبالنسبة للسيور ذات المقطع (V) يختار فى البداية شكل مقطع السير، وبعدها يحدد المعاملان k_0 , k الخاص بهذا الشكل من القيم a, w ثم اخيرا عدد السيور.

$$z = \frac{P}{kF} \tag{14.19}$$

حيث F ـ مساحة مقطع السير الواحد .

ومن اجل اختصار الحسابات التمهيدية ترد فى الجداول الاعلاميــة قيم P_1 بالنسبة لسير واحد ذى مقطع (V) أو بالنسبة للســـم الواحد من عرض السيور المسطحة ، محسوبة من الصيغ الواردة اعلاه.

وتقيد من مقدرة السير على الجر، ظروف تماسه مع البكرة الصغـرى : اذ ينتج فى هذه البكرة زاوية تماس اصغر ونسبة $\frac{h}{D}$ اكبر. امـــا فى البكرة الكبرى فيوجد احتياطى بالنسبة لتماس السير، علما بأن هذا الاحتياطى يكون اكبر كلما كان الفرق بين قطرى البكرتين القائـــدة

الجدول ١٤ - ٧

قيم المعامل C_0 الذى يأخذ فى الاعتبار شد السير

نوع وسيلة نقل الحركة	المعامل C_0 عند وجود زاوية ميل محور وسيلة نقل الحركة مع المحور الافقى		
	من صفر الى ٦٠	من ٦٠ الى ٨٠°	من ٨٠° الى ٩٠°
بالشد الذاتى (شد السير يتم اوتوماتيكيا)	١ر٠	١ر٠	١ر٠
الوسيلة بسيطة مفتوحة مشدودة (يحكم شدها دوريا او تعاد خياطة السير مع تقصيره)	١ر٠	٠ر٩	٠ر٨
الوسيلة مصلبة	٠ر٩	٠ر٨	٠ر٧
نصف مصلبة بزاوية وذات بكرات موجهة	٠ر٨	٠ر٧	٠ر٦

الجدول ١٤ - ٨

معامل السرعة C_v

سرعة السير (متر/الثانية)	١	٥	١٠	١٥	٢٠	٢٥	٣٠
للسيور المسطحة	١ر٠٤	١ر٠٣	١ر٠	٠ر٩٥	٠ر٨٨	٠ر٧٩	٠ر٦٨
للسيور ذات المقطع V	١ر٠٥	١ر٠٤	١ر٠	٠ر٩٤	٠ر٨٥	٠ر٧٤	٠ر٦٠

الجدول ١٤ - ٩

معامل زاوية التماس C_α

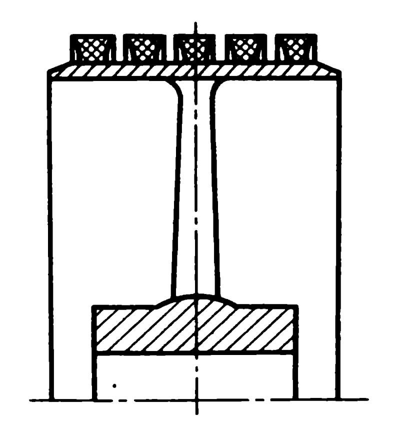
السير	قيم C_α المناظرة لزوايا التماس α°					
	٨٠	١٢٠	١٤٠	١٦٠	١٨٠	٢٠٠
مسطح	-	٠ر٨٢	٠ر٨٨	٠ر٩٤	١ر٠	١ر١٢
ذو مقطع (V)	٠ر٦٢	٠ر٨٣	٠ر٩٠	٠ر٩٦	١ر٠	١ر٠٨

الجدول ١٤ - ١٠

قيم المعامل C_{con} لنظام التشغيل والحمل الديناميكي

الحمل	نوع الماكينات	المعامل
هادئ، حمل بدء التشغيل يشكل ١٢٠٪ من الحمل الاعتيادي	المولدات الكهربية، المراوح ، المضخات والضواغط الطاردة المركزية، الناقلات بالسيور ، ماكينات التشغيل ذات عمليات القطع المستمرة: المخارط وماكينات التثقيب والتجليخ	١ر٠
ذبذبات معتدلة في الحمل ، حمل بدء التشغيل يصل حتى ١٥٠ ٪ من الحمل الاعتيادي	المضخات والضواغط الكباسية ذات الثلاث اسطوانات واكثر، الناقلات بالصفائح ، ماكينات التشغيل الاوتوماتيكية، وماكينات التفريز	٩ر٠
ذبذبات كبيرة في الحمل. يصل حمل بدء التشغيل حتى ٢٠٠٪ من الحمل الاعتيادي	وسائل نقل الحركة العاكسة. المقاشط وماكينات نقر الشقوب. المضخات والضواغط الكباسية ذات الاسطوانة الواحدة أو الاسطوانتين، الناقلات الحلزونية أو ذات المفارف. الروافع، المكابس اللولبية واللامركزية ذات الحدافات الثقيلة نسبيا	٨ر٠
حمل غير منتظم لدرجة كبيرة وحمل صدمي. يصل حمل بدء التشغيل حتى ٣٠٠٪ من الحمل الاعتيادي	الرافعات، الحفارات، وماكينات السحب، المكابس اللولبية واللامركزية ذات الحدافات الخفيفة نسبيا. المقصات، والمطارق ، الدلافين ، والمطاحن	٧ر٠

والمنقادة اكبر. والسعى لاستغلال هذا الاحتياطى قد وصل الى استنباط الوسيلة المسطحة لنقل الحركة بالسيور ذات المقطع (V) : فالسير ذو المقطع (V) يعمل فى مجرى بنفس المقطع على البكرة الصغرى كالمعتاد، مع استغلال كل مقدرة الجر الممكنة فى ذلك، على حين ان السير يعمل على البكرة الكبرى كسير مسطح اذ تتماس جهته السفلى مع سطح البكرة الاملس (الشكل ١٤-١٧). وتستخدم هذه الوسيلة لنقل الحركة بالنسبة $i \geqslant 3$.



الشكل ١٤-١٧

حساب عمر الخدمة. ليس هناك طريقة مدعمة نظريا للحساب يدخل فيها كل العوامل الرئيسية المؤثرة على عمر خدمة السيور. وتسمح المعطيات المستحصلة من الابحاث الجارية بجرد الاقتراب من تقييم منفصل لتأثير الاجهادات المتغيرة دوريا فى السير وكذلك ارتفاع درجة حرارته على عمر خدمته.

ويحدث فى السيور اكبر الاجهادات عندما يلتف السير حول البكرات. وخلال دورة كاملة واحدة (أى دوران السير دورة كاملة) تتغير فيه الاجهادات بالتناسب الطردى مع عدد البكرات والاسطوانات فى وسيلة نقل الحركة. وحتى الوقت الحالى لم يحدد القانون الذى يحدث بمقتضاه فى السير الملتف حول بكرات ذات اقطار مختلفة، تراكم الكلال والاصابات الناتجة عنه والتى تؤدى الى قطع السير. لذلك عند حساب عمر الخدمة يعتمد على الاجهادات σ_{max} التى تظهر عند التفاف السير حول البكرة الصغرى فى وسيلة نقل الحركة، أى على اكثر القطاعات صعوبة على السير فى الدورة.

والمعادلة العامة لعمر خدمة السير يمكن تقديمها بالشكل التالى :

$$\sigma_{max}^{m} \times 3600\, uaH = \sigma_{fat}^{m} N_0,$$

ومن هنا يكون عمر خدمة السير

$$H = \frac{N_0}{3600\, ua}\left(\frac{\sigma_{fat}}{\sigma_{max}}\right)^m h, \qquad (14.20)$$

حيث N_0 ـ قاعدة تجارب الكلال والتى تؤخذ مساوية 10^7 دورة ؛

σ_{fat} ـ حد الاطاقة المناظر لعدد دورات التحميل N_0 ، والذى يحدد حسب المنحنى المتوسط للكلال ؛

σ_{max} ـ اكبر اجهاد فى السير والذى يحسب من المعادلة (14.13) ؛

$u = \frac{v}{L}$ ـ عدد دورات السير فى الثانية وهو يساوى النسبة بين سرعة السير v (m/sec) وبين طوله بالمتر ؛

a ـ عدد البكرات فى وسيلة نقل الحركة.

ويفضل على أساس المعطيات التجريبية بالنسبة للسيور المسطحة (شبه المطاطية والسيور المنسوجة القطنية) ، أخذ $m = 6$ ؛ $\sigma_{fat} = 60\ kgf/cm^2$ (بالنسبة للسيور شبه المطاطية) ، و $\sigma_{fat} = 30\ kgf/cm^2$ (بالنسبة للسيور المنسوجة القطنية) ، اما بالنسبة للسيور ذات المقطع (V) فتؤخذ $m = 8$ ؛ $\sigma_{fat} = 90\ kgf/cm^2$.

ويمكن أخذ تأثير ازدياد درجة حرارة السير على عمر خدمته على الوجه التالى . عندما تثبت درجة حرارة السير، ويحدث هذا الثبات بعد مضى بعض الوقت من ابتداء التشغيل ، فان كل الحرارة الناتجة عن السير تنتقل الى الوسط المحيط. وعلى اساس الصيغتيين (14.14) ، (2.38) فان معادلة الميزان الحرارى لهذه الحالة تأخذ الشكل :

$$N_{le} = S_{cool} k_{ht} \Delta t = F v k_{pr} ,$$

حيث k_{ht} ـ معامل انتقال الحرارة.

ومن هنا يكون انخفاض حرارة السير والوسط المحيط

$$\Delta t = \frac{F\ v}{S_{cool} k_{ht}}\ k_{pr} \tag{14.21}$$

ونسبة مساحة مقطع السير F الى مساحة سطحه الخارجى S_{cool} للسيور المسطحة

$$\frac{F}{S_{cool}} = \frac{bh}{2(b + h)L} \approx \frac{h}{2L} , \tag{14.22}$$

وحيث أن $h \ll b$.

وفى السيور ذات المقطع (V) ($b = 1.6h$; $\varphi_0 = 40°$)

$$\frac{F}{S_{cool}} = \frac{0.8\,bh}{2.9bL} \approx \frac{h}{3.6L} \tag{14.23}$$

وعلى ذلك فان المعادلة (14.21) يمكن كتابتها على الوجه التالى :

$$\Delta t = \frac{v}{L}\ \frac{hk_{pr}}{(2;\ 3.6)\ k_{ht}} = u\ \frac{hk_{pr}}{(2;\ 3.6) k_{ht}} \tag{14.24}$$

ومن هنا يتضح انه عند تساوى باقى الظروف تكون درجة الحرارة متناسبة مع المقدار u .

وحقيقة أن عمر خدمة السير يعتمد لا على الاجهادات المتغيرة دوريا فقط، بل وعلى تردد هذا التغير ايضا ، يمكن تفسيرها بتأثير زيادة درجة حرارة السير.

واذا كان اختيار قيم k ، σ_0 و $\frac{h}{D_1}$ ، التى تعتمد عليها

قيمة المعامل k_{pr} ، متمشيا مع التوصيات الاعتيادية، تبقى u القيمة الوحيدة التى تحدد زيادة درجة حرارة السير. والتجارب تؤكد هـذا. اذ اتضح انه ابتداء من $u = 2 \div 3$ ، يكون لتسخين السير تأثيرا ملموسا على عمر خدمته. واذا كانت $u \geqslant 10$ ، ينقص عمر خدمة حتى احسن السيور الحريرية حتى يصل الى عدة ساعات.

والمواصفات الجديدة الخاصة بالسيور ذات المقطع (V)، التى وضعت بعد عام ١٩٦٠ ، تنص على اختبار السيور بالنسبة لعمر خدمتها. فمثلا بالنسبة للسيور الضيقة ذات المقطع (V) يضمن عمر تشغيل - مجموع عدد ساعات التشغيل أثناء التجربة، يساوى

$$\frac{v}{L} T \times 3600 \approx 7 \times 10^6 \text{ runs},$$

حيث v - سرعة السير (متر/الثانية)؛
L - طول السير (متر)؛
T - زمن التجربة (ساعة).

وقيم v و L وغيرهما من ظروف هذه التجارب منظمة بدقة. وباستخدام نتائج هذه التجارب، يمكن فى المستقبل وضع طريقة حسابية قائمة على أساس لحساب وسائل نقل الحركة بالنسبة لعمر خدمتها.

الاحمال على الاعمدة. الحمل الناتج عن نقل الحركة بالسيور تساوى المحصلة الهندسية للشد فى فرعى السير. وبالتقريب مع غض النظر عن الفرق بين الشدين فى فرعى السير، فان المحصلة تحدد بالعلاقة (الشكل ١٤ - ١٨)

$$P = 2S_0 \sin\frac{\alpha}{2} = \frac{P}{\varphi} \sin\frac{\alpha}{2} \qquad (14.25)$$

الشكل ١٤ - ١٨

وبالنسبة لنقل الحركة بالسيور المسطحة وبتنظيم الشد

$$\varphi = \varphi_0 \approx 0.5 \quad R = 2P\sin\frac{\alpha}{2}, \qquad (14.26)$$

وبالنسبة لنقل الحركة بالسيور ذات المقطع (V)

$$\varphi = \varphi_0 \approx 0.7; \quad R \approx 1.5P\sin\frac{\alpha}{2} \qquad (14.27)$$

وبالنسبة لوسائل نقل الحركة الخالية من تنظيم الشد، يجب الأخذ فى الاعتبار ان السير فى البداية يركب على البكرتين بشد يزيد عن الشد الامثل بمرة ونصف المرة، ولذلك يكون اكبر حمل على الاعمدة فى وسائل

الحركة هذه (بالسير المسطح فى العادة)، بعد تركيب السير مباشرة

$$R_{max} = 1.5R \approx 3P \sin\frac{\alpha}{2} \qquad (14.28)$$

وفى العادة لا تقل زاوية التماس α عن ١٢٠° . ولذلك يمكن بفرض اجراء الحسابات الابتدائية اهمال $\sin\frac{\alpha}{2}$ (اى اعتباره مساوية للوحدة) ويكون الخطأ فى اتجاه زيادة الحمل لا يزيد عن ١٥ ٪ .

الجدول ١٤ - ١١

المقاطع المقترحة للسيور ذات المقطع (V)
تبعا للقدرة المنقولة وسرعة السير

القدرة المنقولة بالكيلوواات	مقاطع السير عندما تكون السرعة بالمتر فى الثانية			ملاحظة
	٥	٥ - ١٠	اكبر من ١٠	
اقل او تساوى ١	O, A	O, A	O	من بين بضعة مقاطع
١ - ٢	O, A, Б	O, A	O, A	مقترحة توافق الشروط المعطاة،
٢ - ٤	A, Б	O, A, Б	O, A	يفضل فى البداية اختيار
٤ - ٧ر٥	Б, B	A, Б	A, Б	اصغرها ثم الانتقال الى
٧ر٥ - ١٥	B	Б, B	Б, B	مقاطع اخرى فقط فى حالة
١٥ - ٣٠	–	B	B, Г	ما اذا كان عدد السيور
٣٠ - ٦٠	–	Г,Д	B, Г	كبيرا بدرجة غير مقبولة، اذ
٦٠ - ١٢٠	–	Д	Г, Д	يزيد عمر خدمة السير كلما
١٢٠ - ٢٠٠	–	Д, E	Г, Д	زادت النسبة $\frac{D}{h}$.
٢٠٠	–	–	Д, E	

خطوات اجراء حساب تصميم وسائل نقل الحركة بالسيور المسطحة.

١ . يختار نوع السير. وفى هذا ينطلق من الظروف المعطية لعمل وسيلة نقل الحركة ومواصفات السيور التى تنتجها الصناعة المحلية (انظر ص ١٦٣).

٢ . تحسب اقطار البكرات ، والمسافة بين المركزين وزوايا التماس (انظر ص ٢٣٦).

٣ . يعين سمك وعرض السير من حساب المقدرة على الجر (انظر ص ٢٤٠)، وذلك بالاعتماد على مواصفات السيور والمعلومات الاعلامية الخاصة بالجهد والطاقة بالنسبة لكل سم واحد من عرض السير .

واذا نتج أن ابعاد السير لسبب أو لآخر غير مناسبة ، يعاد الحساب مع تغيير نوع السير وسمكه واقطار البكرات.

٤ . يراجع عمر خدمة السير (انظر ص ٢٤١) وهذه المراجعة ضرورية عند المقارنة بين بضع حلول لنقل الحركة، والعمر المحدد لخدمة السير، والقيود على الابعاد وغيرها من الشروط الخارجة عن الشروط العادية لتشغيل وسيلة نقل الحركة.

٥ . تحدد الاحمال المطبقة على اعمدة وسيلة نقل الحركة.

٦ . تحسب تجهيزات الشد وغيرها من الاجزاء .

<u>خطوات اجراء حساب تصميم وسائل نقل الحركة ذات المقطع (V) :</u>

١ . ولاختيار شكل مقطع السير يجب الرجوع الى (١٤ - ١١).

٢ . تحدد اقطار البكرات والمسافة بين المركزين (انظر ص٢٣٦) واقصى سرعات مسموح بها للسيور واقل اقطار للبكرات (انظر الجدول ١٤ - ٥).

٣ . يحدد طول السير ثم يقرب حتى اقرب بعد قياسى (انظر ص٢٣٦ ، والجدول ١٤ - ٦).

٤ . من الطول المختار للسير تراجع المسافة بين المركزين المستنتجة.

٥ . تستنتج زاوية التماس بالنسبة للبكرة الصغرى (انظر ص ٢٣٦، والجدول ١٤ - ٦).

٦ . يحدد عدد السيور من المقدرة على الجر (انظر ص ٢٤٠). وترد فى المواصفات القياسية والمعطيات الاعلامية القدرات التى ينقلها السير تبعا للسرعة وقطر البكرة وغيرها من الظروف .

واذا ما ظهر ان عدد السيور غير مقبول ، يعاد الحساب مع اختيار مقطع آخر للسير، مع تغيير قطرى البكرتين تبعا لذلك.

٧ . تحدد الاحمال المؤثرة على أعمدة وسيلة نقل الحركة (انظر ص ٢٤٣).

٨ . تحسب التجهيزات الشادة وغيرها من الاجزاء واجبة الحساب.

الباب الخامس عشر

وسائل نقل الحركة بالتروس

معلومات عامة

التركيب. يتحقق نقل عزم الدوران من العمود القائد الى العمود المنقاد فى نقل الحركة بالتروس (الشكل ١٥ - ١)، عن طريق ضغط اسنان الترس على اسنان العجلة. وبغرض المحافظة على ثبات نسبة النقل يجب أن تكون لاسنان الترس والعجلة أشكال متقارنة. وشرط الاقتران بين اسنان العجلات يتوفر، اذا ما تعشقت الاخيرة مع الجريدة المسننة الاساسية بشكل صحيح. ومحيط اسنان الجريدة الاساسية، الذى يعتمد على نوع التعشيق، يسمى بالمحيط الاساسى. وبارامترات المحيط الاساسى تختار بحيث تضمن المتانة القصوى للاسنان.

ولقد حصل التعشيق الانفوليوتى على اكبر الانتشار فى بناء الماكينات. وشكل وبارامترات المحيط الاساسى للعجلات المسننة الانفوليوتية (involute) (الشكل ١٥ - ٢ ،أ) قد حددتها المواصفات القياسية. وشكل المحيط هو خط مستقيم على طول متساو فوق وأسفل الخط الاوسط (أ-أ) الذى عنده يتساوى كل من سمك السنة وعرض التجويف بين السنتين المتجاورتين. والاسطح الجانبية للاسنان للمحيط الاساسى مائلة على المستوى الرأسى بزاوية $\alpha_p = 20°$ وتسمى بزاوية التشكيل (profile angle).

وخطورة الجريدة

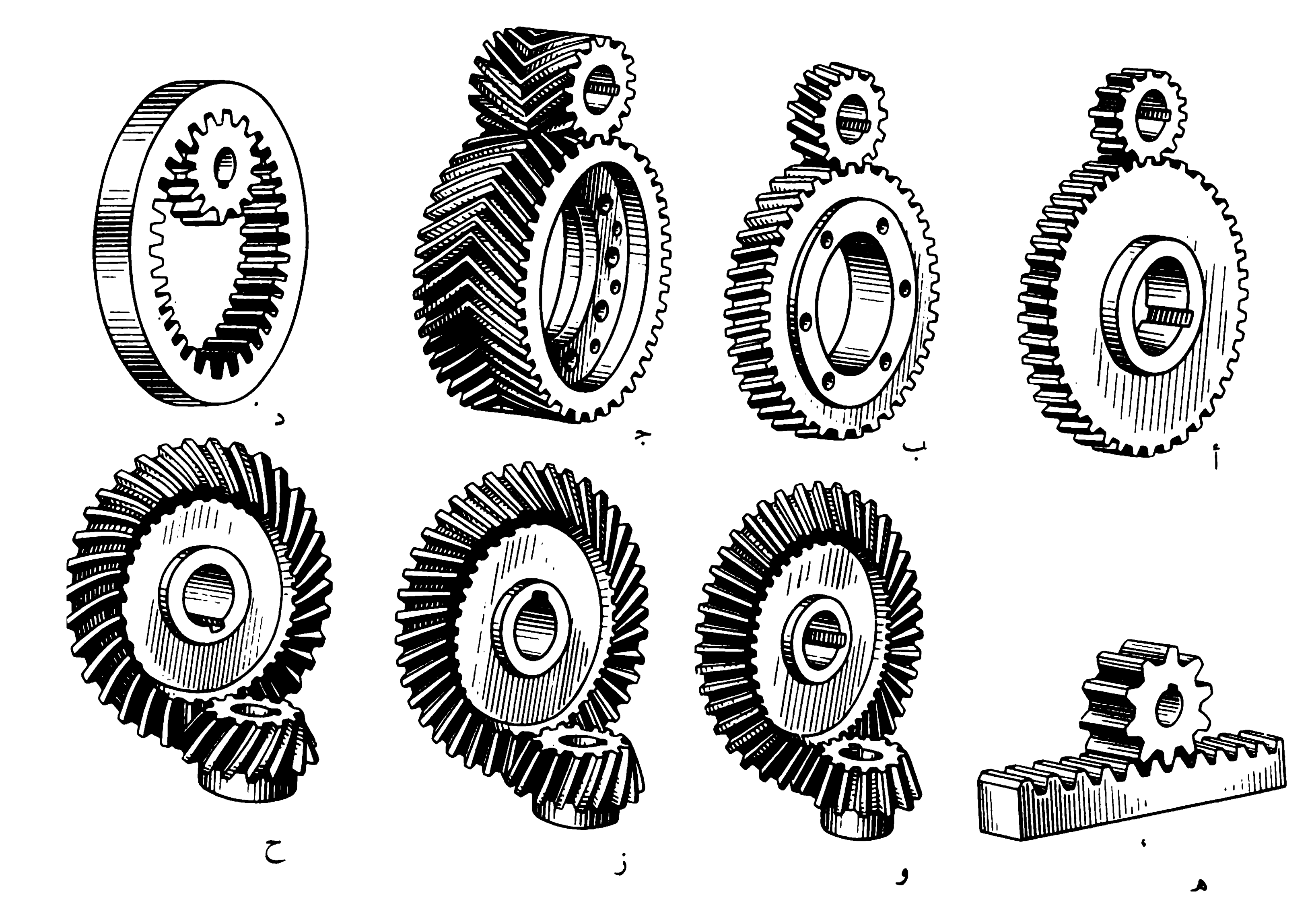
$$t = \pi m \ \text{mm} \tag{15.1}$$

حيث m - المديول (module) بالمم.

وحسب مواصفة قياسية يوجد صفان من قيم المديول ابتداء من ٠٫٥ الى ١٠٠ مم، علما بأن الصف الاول مفضل عن الصف الثانى. والمديولات الاكثر استعمالا هى ١، ١٫٢٥، ١٫٥٠، ٢٫٠، ٢٫٥، ٣، ٤، ٥، ٦، ٨، ١٠، ١٢، ١٦، ٢٠، ٣٢، ٤٠ مم

تحدد ابعاد المحيط الاساسى (الشكل ١٥ - ٢) تبعا للمديول، فمعامل ارتفاع رأس السنة $f_0 = 1$ ، ومعامل الخلوص القطرى $C_0 = 0.25$ ، وبالنسبة للمحيط الاساسى للتروس المخروطية ذات الاسنان العدلة $C_0 = 0.20$.

وبالنسبة للعجلات المسننة السريعة الحركة المستخدمة فى التعشيق الخارجى، فانه بغية التقليل من تصادم الاسنان ببعضها البعض عند دخولها فى التعشيق وخروجها منه، تنص المواصفات القياسية على اجراء عملية شطب الاسنان التى تكمن فى قطع الاسنان عند قممها بمقدار

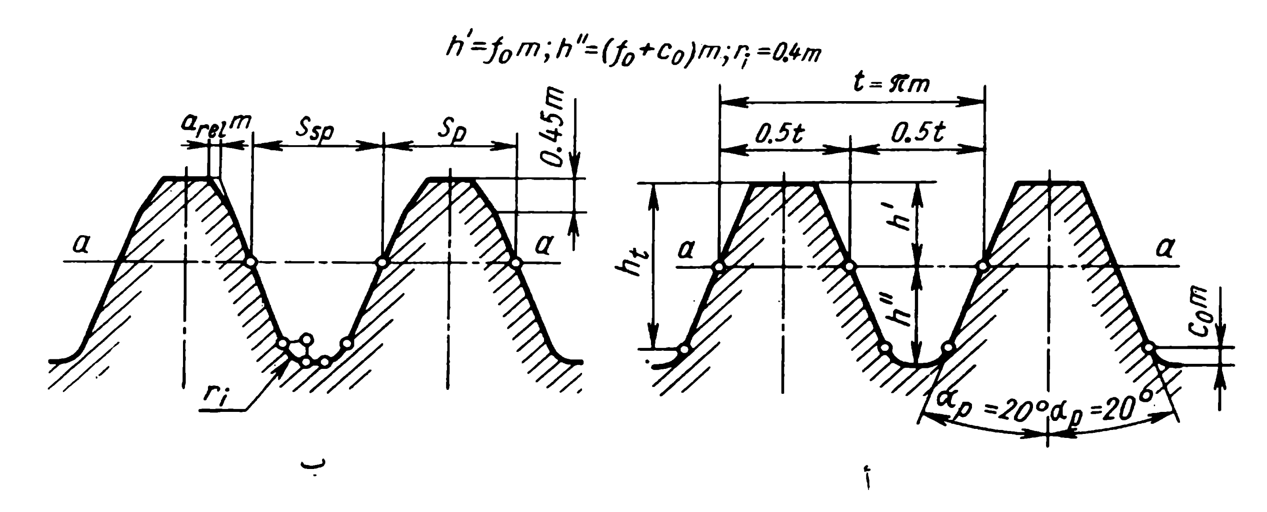


الشكل ١٥-١

$a_c \cdot m$ (الشكل ١٥ - ٢ ،ب) ، وذلك حسب درجة دقة نقل الحركة وحسب المديول .

وبالنسبة للاسنان الحلزونية وتروسها تراعى متغيرات المحيط الاساسى (فيما عدا الاحوال الخاصة)فى المقطع المعمودى للسنة.

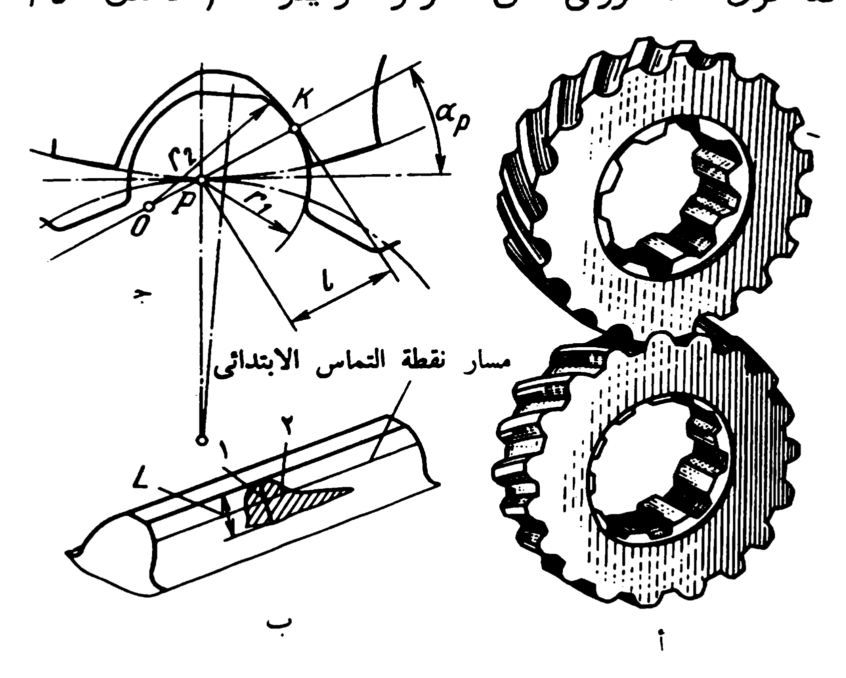
وفى الكثير من فروع بناء الماكينات الخاصة، تستخدم اشكال اساسية خاصة للاسنان بما يتفق والمتطلبات المطلوبة من وسائل نقل الحركة. وحيث انه مع زيادة زاوية التشكيل تزداد متانة الاسنان ، ينتشر اكثر فاكثر استخدام جريدات بزاوية اكبر من ٢٠°، ففى مخفضات السرعة فى محركات



الشكل ١٥ - ٢

الطيران وحتى ٢٨° مع استعمال السنة المحصرة، f_0 = (٩ر٠ - ٨ر٠) ،وفى وسائل نقل الحركة فى السيارات تستخدم علاوة على الزاوية α_p = ٢٠° زاوية تشكيل تساوى ٥ر٢٢° . وفى بعض الحالات تستخدم محيطات أساسية تزاد فيها ارتفاعات رؤوس الاسنان f_0 = (٢٥ر١ - ٣ر١) .

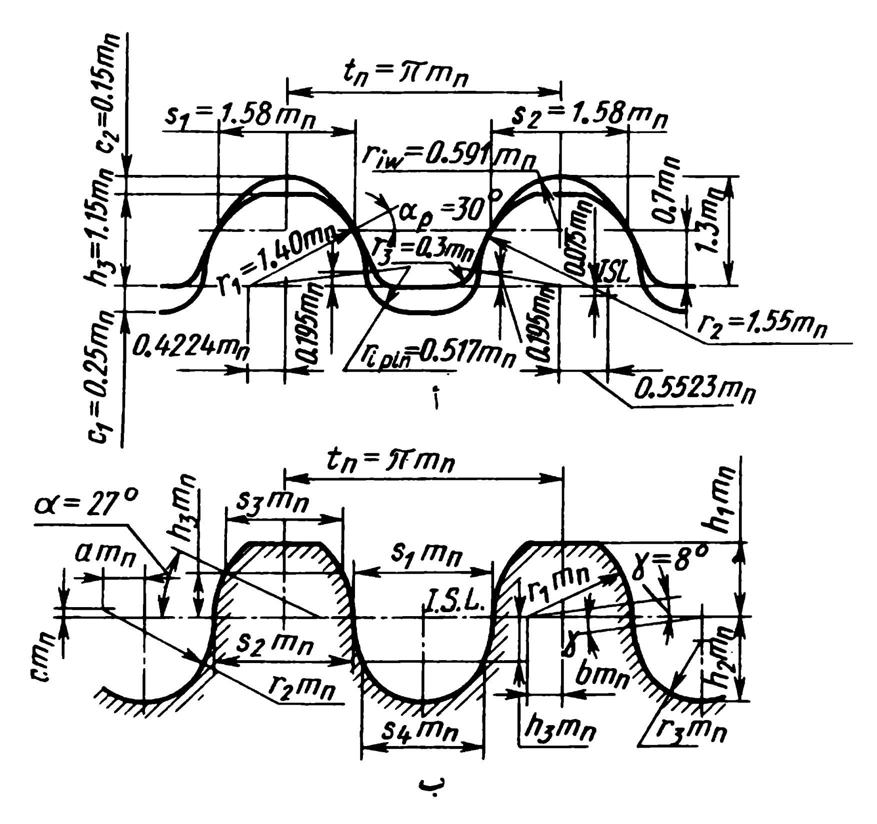
التعشيق الدائرى الحلزونى من طراز نوفيكوف (الشكل ١٥ - ٣). وقد



الشكل ١٥ - ٣

اقترحة فى غام ١٩٥٥ ، وينفذ هذا التعشيق بخط تعشيق واحد (ولا سنان الترس القائد شكل محدب، أما اسنان العجلة المنقادة فلها شكل مقعر)، او بخطين للتعشيق (ويكون شكل اسنان الترس والعجلة محدبا مقعرا). والنسب بين انصاف اقطار التقوس وغيرها من الابعاد فى الاسنان، التى تضمن الوصول الى افضل ظروف لنقل الحركة يقننها المحيط الاساسى.

والاسطح الجانبية لمحيط الاسنان فى المقطع العمودى (والتعشيق فى هذا النوع يكون فقط بين الاسنان الحلزونية) بالنسبة لنقل الحركة بخط تعشيق واحد (الشكل ١٥ - ٤، أ)، تحدها اقواس من دوائر النسبة بين نصفى قطريها $r_2 = 1.1r_1$ والشكل (١٥ - ٤، ب) يوضح المحيط



الشكل ١٥ - ٤

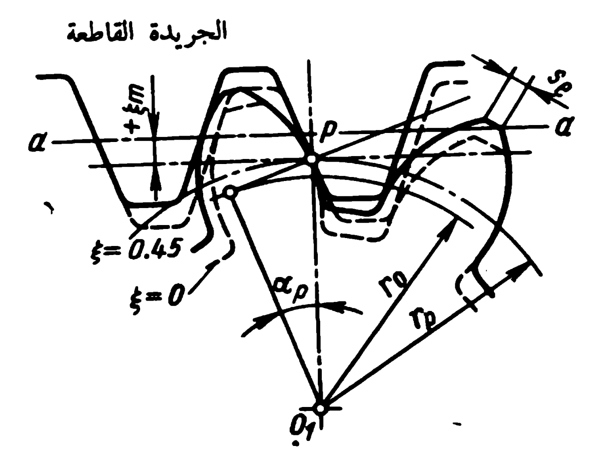
ألاساسى المقترح استعماله فى نقل الحركة بخطين للتعشيق (Base Line ≡ B.L ≡ خط الاساس).

المزايا والعيوب . حصلت وسائل نقل الحركة بالتروس على انتشار واسع فى مختلف الماكينات (ماكينات قطع المعادن، وفى السيارات، وفى ماكينات الرفع والنقل، وفى ماكينات الدلفنة وفى اجهزة السفن وغيرها)، وذلك بسبب صغر حجمها نسبيا، وكفاءة ادائها العالية، ولبساطتها ودرجة الكفاءة عليها فى الاستخدام (انظر ص ١٩٠).

وتعتبر الميزة الكبيرة لوسائل نقل الحركة بالتروس الانفوليوتية هى امكانية تصحيح العجلات بغرض الحصول على اعلى مواصفات لوسيلة نقل الحركة باقل وزن. وجوهر عملية التصحيح بالنسبة للتعشيق الانفوليوتى ينحصر فى انه تبعا لضرورة تغيير هذه او تلك من مواصفات التعشيق، يستخدم فى تشكيل المحيط العامل فى الاسنان قطاعات مختلفة

من دائرة الاساس المعنية. والمتغيرات الاساسية فى التصحيح تعتبر معاملى الانحراف (ξ_1 للترس القائد ξ_2 لترس المنقاد) اللذان يحددان قيمة انحراف العدة القاطعة ξ_m بالنسبة للخامة اثناء اجراء قطع الاسنان . ومع تغيير قيمتى هذين المعاملين تتغير الابعاد النسبية للاسنان (الشكل ١٥ - ٥).

فاذا كان المحور المتوسط للجريدة أ - أ سيقع على مسافة من مركز العجلة اكبر من نصف قطر دائرة التقسيم - r_p يعتبر معامل الانحراف ξ فى هذه الحالة موجبا ، وفى الحالة المغايرة ، سالبا .



الشكل ١٥ - ٥

وبالاختيار المناسب لمعاملى انحراف الجريدة، يمكن زيادة مقدرة وسيلة نقل الحركة على الحمل ، وامكانية " ارساء " وسيلة نقل الحركة فى المسافة المعطاة بين المحورين مع الاحتفاظ بنسبة نقل الحركة المعطاة. وبمساعدة التصحيح الايجابى للعجلات($\xi > 0$)، يمكن تجنب اجراء عملية القطع التحتى للاسنان (undercutting) ، ويمكن قطع تروس بعدد اسنان اقل كثيرا من ١٧ (عندما تكون زاوية التشكيل $\alpha_f = 20°$) ولكن زيادة معامل الانحراف يمكن ان تؤدى الى تقليل سمك السنة عند قمتها ، لذلك فان القيمة القصوى لـ ξ تحدها شروط تداخل الاسنان (interference) وفى العادة يؤخذ السمك الادنى للسنة عند قمتها (الشكل ١٥ - ٥) $s_{e\ min} = (0.2 \div 0.4)m$. وفى وسائل نقل الحركة، حيث قطعت عجلتها بقيم ايجابية كبيرة لمعامل الانحراف، يقل بشدة معامل التغطية ε لذلك فان زيادة معاملات الانحراف كثيرا ما تقتصر على القيمة الدنيا المسموح بها $\varepsilon_{min} = 1.1$.

وحدود اختيار معاملات تصحيح العجلات المسننة يمكن تقديمها على شكل مجموعة منحنيات على محورين $\xi_1 - \xi_2$ ، ويرمز كل من هذه المنحنيات الى القيم المسموح بها لصفات التعشيق (ε_{min} ، $s_{e\ min}$ وغيرهما) . ومجموع هذه المنحنيات (" المحيط المحدد ")، يحدد مجال الاختيار الرشيد لقيم معاملات الانحراف بالنسبة للتشكيلات المختلفة من أعداد الاسنان لعجلات وسيلة نقل الحركة.

وتستخدم بتوسع خاص العجلات المصححة فى وسائل نقل الحركة بالتروس العدلة، وهى تستخدم اندر فى نقل الحركة بالتروس الحلزونية.

ونقل الحركة بتعشيق التروس الانفوليوتية تحوى عيبين كبيرين. وينحصر العيب الاول فى أن انصاف اقطار تقوس محيطات الاسنان الانفوليوتية التى تؤثر بشدة على المقدرة على الحمل فى وسيلة نقل

الحركة تعتمد على اقطار العجلات وعلى زاوية التعشيق α ، وذلك من ناحية شرط متانة التلامس (انظر ص ٢٦٢).

واذا اقتضى الامر نقل حمل كبير، وجبت زيادة انصاف اقطار تقوس محيطات الاسنان، وهو ما يمكن التوصل اليه بواسطة زيادة اما زاوية التعشيق، أو اقطار العجلات المسننة. وبمساعدة التصحيح يمكن زيادة مقدرة وسيلة نقل الحركة على الحمل فقط فى حدود معلومة. وعلى ذلك يبقى طريق واحد فقط، زيادة اقطار للعجلات المسننة وهذا الطريق يؤدى الى زيادة ابعاد وسيلة نقل الحركة.

وسبب العيب الثانى التماس الخطى بين الاسنان المتماسة (انظر ص ٢٧٦) ونتيجته ان عدم الدقة فى وضع أعمدة الادارة او فى اتجاه الاسنان، وكذلك تشوه الاعمدة وكراسى المحاور اثناء تشغيل وسيلة نقل الحركة، تؤدى الى الاختلال فى توزيع الحمل على طول خطوط التماس.

وفى التعشيق من طراز نوفيكوف لا تعتمد انصاف اقطار تقوس الاسنان المحدبة والمقعرة على اقطار العجلات، أما التماس الخطى فيستبدل بنقطة تماس ابتدائية. وبعد استمرار التشغيل يتوزع التماس بنقطة على ارتفاع السنة وينتشر على مستوى (١) متعامد تقريبا على اتجاه السنة (انظر الشكل ١٥ - ٣، ب) ونتيجة لانصاف اقطار التقوس الكبيرة لاسطح الاسنان فى المستوى المتعامد على خط التماس نجد أن المساحة الصغيرة للتماس (٢) تتوزع على طول السنة وتتحول الى مساحة ملموسة. وحيث أن سرعة انتقال منطقة التماس على طول الاسنان هى سرعة كبيرة، فان كل هذه المسببات تساعد على تكون طبقة زيتية مستقرة بين الاسنان. ولذلك فان الاحمال غير الخطرة بالنسبة لوسيلة نقل الحركة من طراز نوفيكوف تكون اكبر كثيرا من احمال التعشيق الانغوليوتى بالنسبة لشروط متانة التماس.

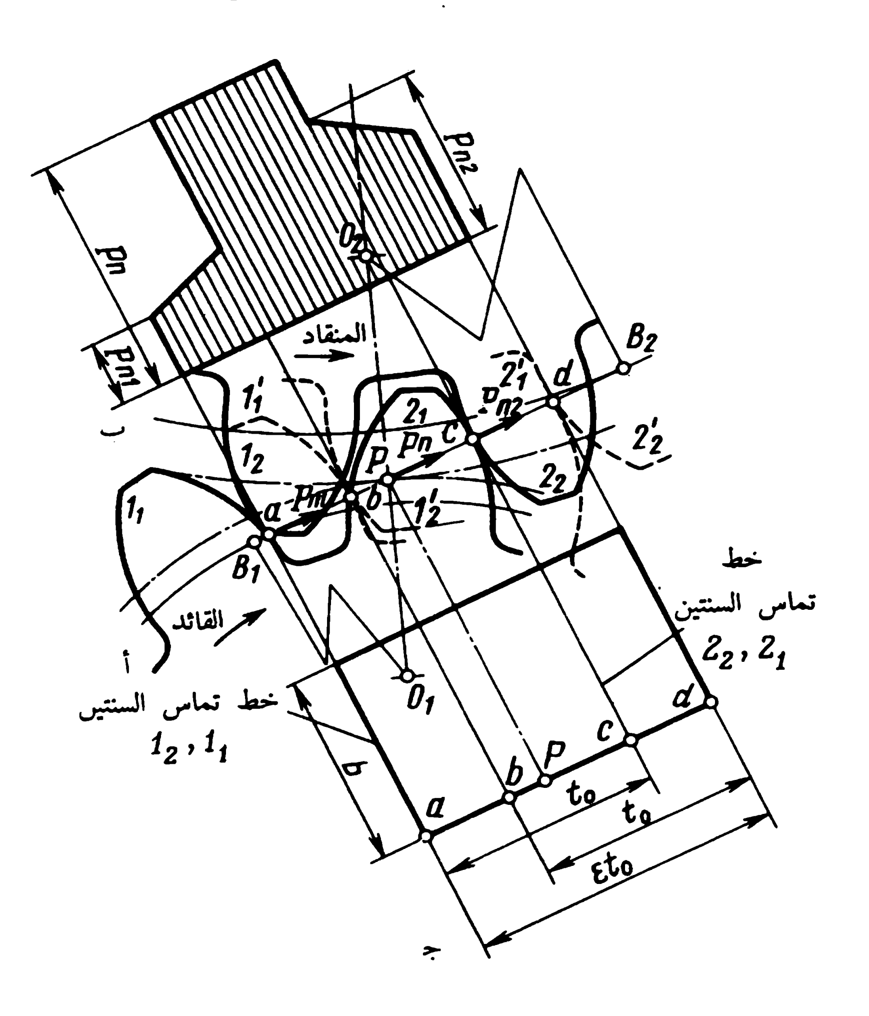
وتماس الاسنان فى المساحة التى تكون جزءا فقط من مساحاتها الجانبية يجعل نقل الحركة اقل حساسية بالنسبة لعدم دقة التصنيع وبالنسبة لتشوه الاجزاء . وبجانب هذا فان وسيلة نقل الحركة من طراز نوفيكوف، خلافا على نقل الحركة بالتعشيق الانغوليوتى تكون اكثر حساسية بالنسبة للاخطاء فى المسافة بين المحورين.

التصنيف. يمكن تقسيم العجلات المسننة ووسائل نقل الحركة بالتروس حسب مميزاتها المختلفة. فبالنسبة للوضع النسبى للاعمدة تقسم الى وسائل نقل الحركة، الاسطوانية وهى بين عمودين متوازيين، (انظر الشكل ١٥-١، أ، ب، جـ، د)، ومخروطية، وهى بين عمودين يتقاطع محوراهما (الشكل ١٥ - ١، هـ، و، ز). وتنقسم وسائل نقل الحركة حسب عدد درجاتها، الى وسائل بدرجة واحدة أما وسائل متعددة الدرجات، وبالنسبة للطابع النسبى لحركة الاعمدة، تنقسم الى وسائل عادية، أو وسائل كوكبية (انظر ص ٣٧٦) وكذلك الى وسائل نقل الحركة (وعجلات مسننة) ذات تعشيق

خارجى ، (الشكل ١٥ - ١ ،أ ،ب، جـ) ،وذات تعشيق داخلى (الشكل ١٥ - ١ ،د) وحسب الصياغة التصميمية لجسم وسيلة نقل الحركة تقسم الى وسائل مفتوحة والى وسائل مغلقة، وحسب وضع الاسنان بالنسبة لرواسم العجلات، تنقسم الى عجلات ذات اسنان مستقيمة، والى ذات الاسنان المائلة، والى ذات الاسنان متعاكسة، وذات الاسنان المنحنية (الشكل ١٥ - ١، أ، ب، د ، ز)، وحسب دقة التصنيع تنقسم وسائل نقل الحركة الى ١٢ درجة دقة (تقل درجة الدقة مع زيادة رقمها) .وكثيرا ما يستخدم نقل الحركة بواسطة الترس والجريدة المسننة، وذلك لتحويل الحركة الدورانية الى حركة ترددية وبالعكس (الشكل ١٥ - ١ ،هـ) .

اسس نظرية وعمل وسائل نقل الحركة

عملية نقل الحمل فى التعشيق الانغوليوتى بالاسنان المستقيمة. اثناء عمل وسيلة نقل الحركة يبدأ تلامس السنة التالية فى الترس القائد مع سنة الترس المنقاد على جذر (root) السنة القائدة وعند قمة السنة المنقادة (انظر شكل ١٥ - ٦ ، أ) وتدخل الاسنان فى التعشيق بكل طول السنة



الشكل ١٥ - ٦

مباشرة. ويفرض توفير استمرارية نقل الحركة الدورانية بلا توقف الى العمود المنقاد ، قبل خروج احد ازواج الاسنان من التعشيق يجب ان يدخل الزوج التالى فى التماس. ويتوفر هذا الشرط عندما يكون معامل التغطية - النسبة بين طول منحنى التعشيق (المنحنى الذى تقطعه العجلات بالدوران اثناء تعشيق الزوج المعنى من الاسنان) ، وبين الخطوة على هذا المنحنى - $\varepsilon > 1$. وبناء عليه فانه فى بداية فترة تعشيق زوج الاسنان $1_1 = 1_2$ (على طول قطاع خط التعشيق ab ، الشكل ١٥-٦،أ) ، يوجد زوج الاسنان $2_1 - 2_2$ فى حالة تماس حيث يأخذ تعشيقها فى الاقراب من نهايته. ولذلك فانه خلال بعض الوقت وفى منطقة التعشيق بين زوجين من الاسنان (فى القطاعين ab و cd من خط التعشيق) ينقل الحمل P_n بواسطة زوجين من التروس وعلى طول خطين للتلامس يبلغ طول كل منها العرض الاقل للحافتين المسننتين فى الترسين.

واذا افترضنا أن الخطوة الاساسية للتعشيق t_o ، وشكل الاسنان منفذان بدقة، فان توزيع الحمل العمودى بين زوجى الاسنان المعشقين فى وقت واحد، سيكون متناسبا طرديا مع جساءة هذين الزوجين من التروس مأخوذة فى اتجاه خط التعشيق.

والحمل بالكجم الذى يسبب ازاحة نقطة التماس لمسافة ١ سم يسمى بجساءة زوج الاسنان، وقيمتها تتناسب عكسيا مع تشوهات الضغط بالتماس وازاحة القص والثنى للاسنان. وتعتمد قيمة التشويه على موضع نقطة التماس على سطح (شكل) السنة، وعلى شكلها ومادة العجلة المسننة وغيرها. ونقطة تطبيق القوة واتجاهها بالنسبة للسنة يعتمدان على موضع نقطة التماس على طول خط التعشيق ، أى على طور التعشيق ولذلك فهما يتغيران باستمرار.

واذا كانت جساءة احد ازواج الاسنان فى اللحظة المعنية من التعشيق مساوية c_1 * ، وجساءة الزوج الثانى المعشق فى الوقت نفسه c_2 ، فان الجهدان المؤثران على كل زوج من الاسنان يكونان P_{n_1} ، P_{n_2} ويمكن تعيينهما من شرط تساوى ازاحتى زوجى الاسنان على طول خط التعشيق :

$$\frac{P_{n_1}}{c_1} = \frac{P_{n_2}}{c_2}$$

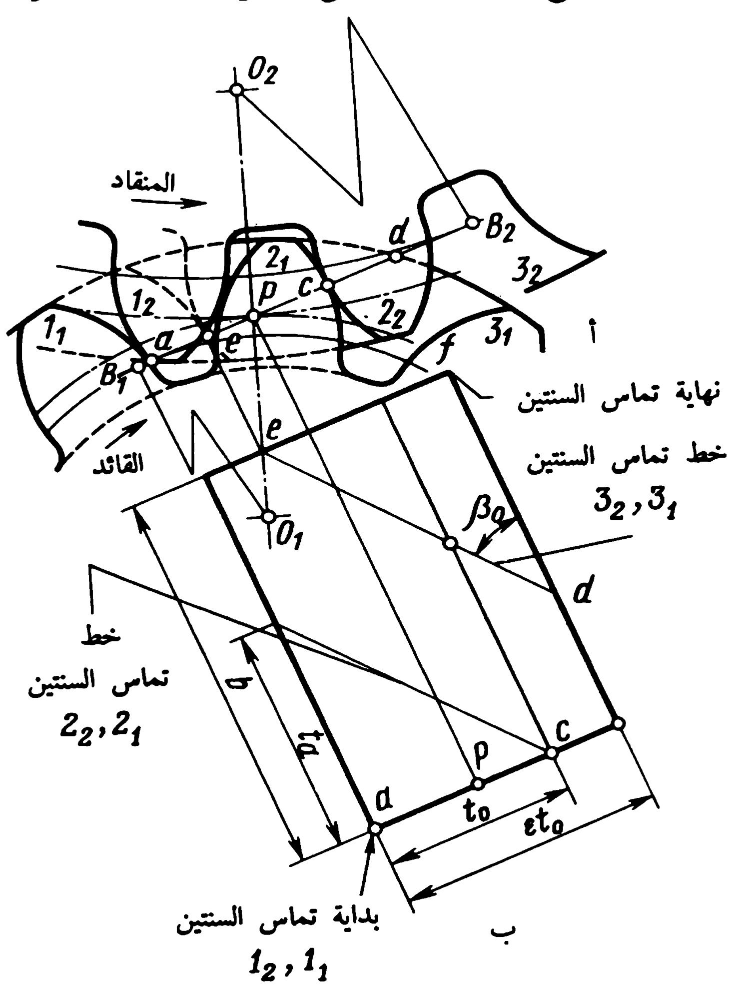
ونتيجة للتغير المستمر للجساءتين c_1 c_2 فى عملية التعشيق يتغير ايضا الحملان P_{n_2} P_{n_1} (انظر منحنى توزيع الاحمال فى الشكل ١٥-٦، ب). وفى لحظة تماس السنة 1_2 بواسطة قمتها (الشكل ١٥ - ٦) سيكون الحمل P_{n_1} غير كبير بسبب الجساءة الصغيرة لها فى حالة

---

* اذا كانت z_1 = ٢٠ ، و z_2 = ٤٠ تكون القيمة التقريبية لجساءة زوج من الاسنان المصنوعة من الصلب فى لحظة التماس بين قمة سنة الترس حوالى ١١٢٥٠٠ كجم/سم، وفى لحظة الانتقال الى التعشيق بين زوج واحد من الاسنان حوالى ١٤٥٠٠٠ كجم/سم .

الثنى . ومع انتقال خط التماس من قمة هذه السنة تزيد جساءة زوج الاسنان ويزيد ايضا الحمل P_{n_1} وعندما تصل نقطة تماس السنتين فى المقطع الطرفى منتقلة على طول خط التعشيق، الى النقطة b المتأخرة عن النقطة d بمسافة الخطوة الاساسية t_0 ، فان زوج الاسنان $2_2 - 2_1$ يخرج من التعشيق، وينتقل الحمل كله بواسطة زوج الاسنان $1_2 - 1_1$ على طول خط تماس يساوى عرض العجلة b . ويحدث هذا فى منطقة التعشيق بزوج واحد من الاسنان فى القطاع bc من حقل التعشيق (الشكل ١٥ - ٦، ج).

وبناء على ذلك يعتبر من المميز فى نقل الحركة بالاسنان المستقيمة، التطبيق اللحظى للحمل وازالته على طول الاسنان كله، والتغير الحاد فى الطول الكلى لخطوط التماس l : وعندما يكون معامل التغطية $2 > \varepsilon$ فى منطقة التعشيق بين زوجين من الاسنان $l_2 = 2b$ ، وفى منطقة التعشيق بين زوج واحد من الاسنان $l_1 = b$. وبسبب عدم دقة التصنيع وتشوه اجزاء وسيلة نقل الحركة تتوزع الاحمال على طول خطوط التماس بغير انتظام، حيث تتركز بالقرب من نهايات الاسنان . ولهذه الاسباب ايضا تختل الخطوة بين الاسنان، وتحدث الصدمات عند دخولها التعشيق (انظر ص ٢٧٧).



الشكل ١٥ - ٧

عملية نقل الحمل فى التعشيق الانفوليوتي بالاسنان المائلة: فى المقاطع المتعامدة على محاور العجلات ذات الاسنان المائلة يحدث التماس بين الاسنان مثلما يحدث فى حالة الاسنان المستقيمة، ولكن حيث أن الاسنان موجودة على خطوط حلزونية، فان المقاطع المختلفة تتواجد فى اطوار مختلفة من التعشيق. وفى وسائل نقل الحركة بالاسنان المائلة، لا تدخل الاسنان التعشيق دفعة واحدة بطولها، ولكن بالتدريج . ويبدأ التماس عند قاعدة السنة القائدة وعند حافة السنة المنقادة فى نقطة a الموجودة على الطرف (الشكل ١٥-٧، أ) ومع دوران العجلة القائدة يتوزع التماس على طول الخط المنتقل على السطح الجانبى للاسنان، ويزيد طول هذا الخط حتى يصل الى طول حدى معين، وبعدها

يأخذ فى التقلص حتى نقطة f ، الموجودة على الطرف المقابل للعجلة، وبعد ذلك يخرج الزوج المعنى من الاسنان من التعشيق (انظر حقل التعشيق فى الشكل ١٥ ـ ٧ ،ب) . وبعد دوران العجلة القائدة بمقدار الخطوة الطرفية مقاسة على المحيط الاساسى يدخل التعشيق الـــزوج التالى من الاسنان، وينقل الحمل بواسطة خطين للتماس. واذا كان عرض العجلتين وزاوية ميل الاسنان β_0 كبيرين، فانه خلال تماس زوج واحد من الاسنان، يدخل التعشيق بضعة ازواج اخرى من الاسنان، وينقل الحمل بواسطة بضعة خطوط للتماس.

ويكون معامل التغطية للعجلات ذات الاسنان المائلة:

$$\varepsilon_{hel} = \varepsilon_s + \varepsilon_a = \varepsilon_s + \frac{b}{t_a} , \tag{15.2}$$

حيث ε_s ، ε_a ـ معاملا التغطية المحورى والطرفى على التوالى .

وفى وسائل نقل الحركة ذات حقل التعشيق b ، الذى يســاوى اضعاف الخطوة المحورية t_a ، يكون الطول الاجمالى لخطوط التمـاس ثابتا :

$$l = \frac{b\varepsilon_s}{\cos\beta_0}$$

وللحالة العامة، عندما لا تجرى مراعاة الشروط المذكورة، يتغير الطـول الاجمالى لخطوط التماس باستمرار

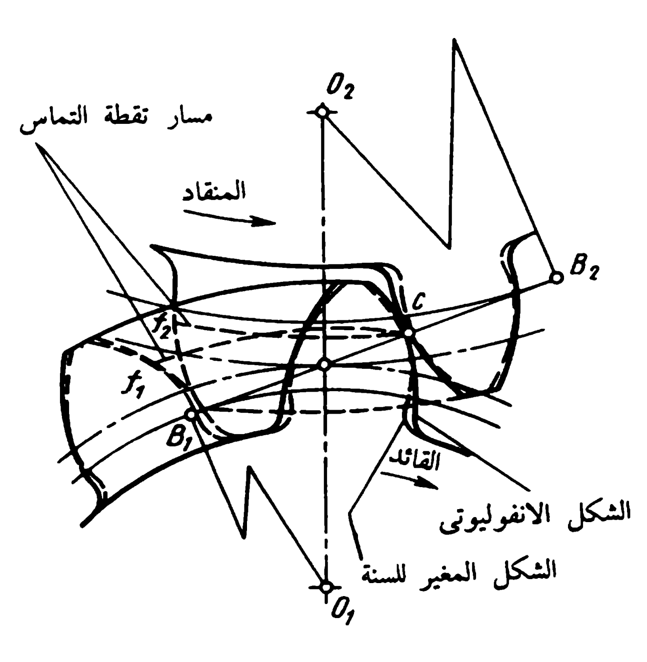
$$l = \frac{b\varepsilon_s\lambda}{\cos\beta_0} \tag{15.3}$$

حيث λ ـ معامل تغير الطول الاجمالى لخطوط التماس، الذى يعتمـد على النسبة بين القيمتين b ، t_0 ، وطور التعشيق، وتتراوح قيمه فى حدود ٩ر٠ حتى ١ تقريبا .

وبهدف التقليل من تغير الطول الاجمالى لخطوط التماس، يجب ان يأخذ عرض العجلتين قيمة قريبة من العرض المساوى لاضعاف الخطــوة المحورية للتعشيق .

<u>عملية نقل الحمل فى التعشيق من طراز نوفيكوف</u> . نفترض انه فى المقطع الطرفى لزوج الاسنان الانفوليوتى المائل لعجلتين مسننتين، يكون شكلى السنتين المعشقتين أعلى وأسفل نقطة التماس c منحرفين فــى جسم السنتين (انظر الشكل ١٥ ـ ٨). ونتيجة لذلك فان سمك السنة من الشكل الجديد على كل الاقطار، ماعدا القطر حيث توجد نقطــة التماس، يصبح أقل من سمك السنة الانفوليوتية من الشكل الصحيح. واذا ما جرى هذا التغيير فى الشكل على كل عرض العجلة المسننة (فــى الشكل ١٥ ـ ٨ يبين الشكل المغير بواسطة خطوط متقطعة)، فان تماس

الاسنان ذات الشكل الجديد سيحدث في كل لحظة زمن فقط فى المقطع المعنى وحده. وعند دوران العجلة القائدة بزاوية ما يظهر التلامس بين الاسنان فى مقطع جديد مواز للمقطع السابق. وفى كل المقاطع الاخرى العمودية على محورى العجلتين لا يوجد تلامس بين الاسنان اقل سمكا. وعند دوران العجلة القائدة تدور ايضا العجلة المنقادة وتنتقل نقطة التماس على طول محورى العجلتين من أحد المقاطع الطرفية الى المقطع الطرفى المقابل، تاركة على السطح الجانبى للاسنان الاثرين cf_1، cf_2.



الشكل ١٥ - ٨

وبالمثال، فانه فى التعشيق من طراز نوفيكوف تعتبر الاسنان متقارنة فقط فى مقطع طرفى واحد معين، ومع وجود اقل قدر من الدوران النسبى للعجلتين، فى المقطع حيث كانت الاسنان متقارنة فى السابق، ويظهر بينها خلوص. ويتوفر ثبات نسبة نقل السرعة فى هذا التعشيق بسبب أن القانون الاساسى للتعشيق يراعى فى كل اللحظات المتعاقبة فى مستوى جديد يكون عموديا على محور العجلتين، تنتقل فيه نقطة تماس الاسنان، وخط التعشيق يوازى محورى العجلتين ويوجد على بعد l من خط المركزين (انظر الشكل ١٥ - ٣، ج).

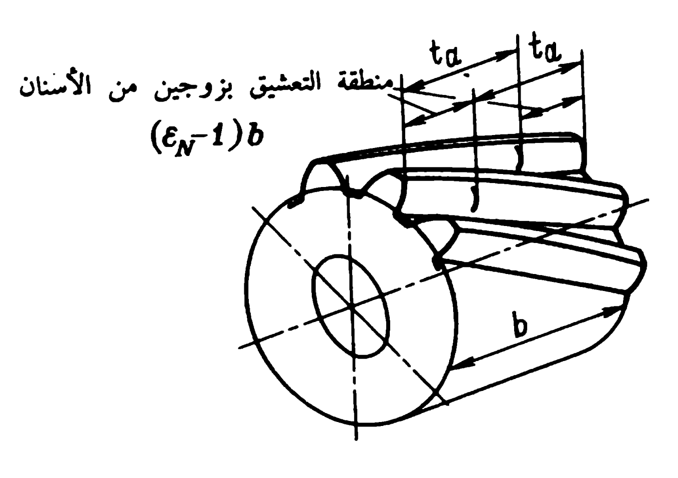
وفى وسيلة نقل الحركة العاملة، يبدأ التعشيق بين الزوج التالى من الاسنان من المقطع الطرفى. وتتزايد تدريجيا المساحة الصغيرة للتماس، وبعد أن تصل الى قيمتها القصوى، تنتقل على طول الاسنان. وفى فترة تعشيق الاسنان، تبقى المساحة الصغيرة للتماس فى القطاع الاوسط من عرض العجلتين بدون تغيير. وفى الطرف المقابل يتلاشى التماس بين زوج الاسنان المعنى.

من أجل توفير استمرارية نقل الحركة الدورانية من العجلة القائدة الى العجلة المنقادة، يلزم قبل أن يخرج زوج من الاسنان من التعشيق، أن يدخل زوج آخر الى التعشيق. وهذا الشرط يوصف بمعامل التغطية، ولكن خلافا عن وسائل نقل الحركة بالعجلات الانفوليوتية المسننة، يكون التوصيف بواسطة معامل التغطية المحورى الذى يعتبر النسبة بين عرض العجلة المسننة b وبين الخطوة المحورية t_a

$$\varepsilon_N = \frac{b}{t_a} = \omega + \psi, \tag{15.4}$$

حيث ω ـ الجزء الصحيح من معامل التغطية ؛
ν ـ الكسر فى معامل التغطية.

وبناء على ذلك سيكون الحمل على العجلة منتقلا اما بزوج أو بزوجين من الاسنان (التعشيق بزوجين من الاسنان)، ويحدث الاخير فى القطاعين من عرض العجلة الموجودين بالقرب من الطرفين وبطول $(\varepsilon_N - 1)b$ (الشكل ٩-١٥) وفى هذه الحالة يقترح $\varepsilon_N = 1 + (0.15 \div 0.35)$ ، وعند مشاركة زوجين من الاسنان باستمرار فى التعشيق نحصل على $\varepsilon_N = 2 + (0.15 \div 0.35)$.



الشكل ١٥ - ٩

وفى وسائل نقل الحركة من طراز نوفيكوف ذات الاسنان المحدبة والمقعرة، توجد لكل سنة منطقتان للتماس، موجودتان على رأس وجذر السنة، وبناء عليه يوجد خطان للتعشيق .

التزييت، والفاقد ، والكفاية.

يظهر اثناء الحركة النسبية للاسنان ، احتكاك تدحرج واحتكاك انزلاق ويصرف فى التغلب عليه جزء من القدرة المنقولة. ويؤدى الاحتكاك الى ارتفاع درجة حرارة وسيلة نقل الحركة، والى تآكل الاسنان ، والى انخفاض كفاءة الاداء .

بغرض رفع مقدرة وسيلة نقل الحركة على العمل ، يجب تزويد التعشيق بزيت للتزييت، يقل بفضله الفاقد فى الاحتكاك ،ويتحسن انتقال الحرارة المتولدة فى التعشيق ، وتخفظ الاسنان من السحق والتآكل بالصدأ . ويكون التزييت فى وسائل نقل الحركة المغلقة تزييتا مستمرا (بالغمس أو بالرش) ، أما فى الوسائل المفتوحة فالتزييت متقطع (دورى) .

ويجب أن تعمل وسيلة نقل الحركة المصممة تصميما سليما والمنفذة تنفيذا جيدا ، أثناء التشغيل الاعتيادى ، بدون أن ترتفع درجة حرارتها وبدون ضوضاء . وزيادة درجة الحرارة الزائدة عن الحد لوسيلة نقل الحركة بالتروس يمكن ان يكون سببها التخلص الرادىء من الحرارة المولدة، والغواقد الداخلية العالية، وقلة لزوجة زيت التزييت (اذ يرتفع الاحتكاك نتيجة التلامس المباشر بين الاسنان) ، او بالعكس بسبب اللزوجة العالية للزيت، وكذلك كمية الزيت الكبيرة مما يؤدى الى حدوث فواقد زائدة تضيع فى رج الزيت .

والتزييت يساعد بدرجة كبيرة على خفض اجهادات التلامس حيث أن الضغط يتوزع على مساحة كبيرة وبانتظام اكبر. وبفضل التزييت ينخفض بدرجة كبرى تأثير عدم الانتظام فى اسطح الاسنان وتقل قوة الصدمات عند دخول الاسنان فى التعشيق .

ويختار نوع زيت التزييت تبعا للسرعة المحيطية والحمل النوعى . وحيث

أن الحمل على السنة المسموح به يكون اكبر كلما كانت الخواص الميكانيكية لمادة العجلة المسننة أعلى ، ففى الجدول ١٥ - ١ ، نورد القيم المقترحة للزوجة زيت التزييت تبعا لمادة العجلات المسننة. وعلى اساس اللزوجة المطلوبة يختار نوع زيت التزييت. وبالنسبة للعجلات المسننة غير المصلدة تصليدا اسمنتيا والمصنوعة من انواع صلب سبائك الكروم والنيكل ، حيث $\sigma_{ut} > 80\ kgf/mm^2$ ، يجب اختيار زيت تزييت أعلى لزوجة (بمقدار درجة واحدة من درجات اللزوجة بالمقارنة بالقيمة المعطاة فى الجدول ١٥ - ١).

الجدول ١٥ - ١

القيم الموصى بها للزوجة الكينيماتيكية للزيت ν لوسائل نقل الحركة بالتروس عند درجة حرارة ٥٠° (١٠٠°) مئوية

المادة	ν بالسنتيستوك للسرعة المحيطية v متر/الثانية				
	٠ر٥ - ١	١ - ٢ر٥	٢ر٥ - ٥	٥ - ١٢ر٥	١٢ر٥ - ٢٥
اللدائن (البلاستيك) الحديد الزهر، البرونز	١٢٠ (١٢)	٨٠ (٦)	٦٠	٤٥	٣٢
الصلب ذو حد المتانة فى الشد σ_{ut} كجم/مم٢ :					
٤٧ - ١٠٠	١٨٠ (٢٠)	١٢٠ (١٢)	٨٠ (٦)	٦٠	٤٥
١٠٠ - ١٢٥	٣٠٠ (٣٥)	١٨٠ (٢٠)	١٢٠ (١٢)	٨٠ (٦)	٦٠
١٢٥ - ١٥٠ ، وكذلك انواع الصلب المصلدة الاسمنتية أو بالصلادة السطحية	٣٠٠ (٣٥)	٣٠٠ (٣٥)	١٨٠ (٢٠)	١٢٠ (١٢)	٨٠ (٦)

وتعتمد قيمة الفاقد فى التعشيق على شكل وعدد الاسنان وعلى معامل الاحتكاك فى التعشيق. وتعتبر الفواقد نتيجة لاحتكاك الانزلاق التى تعتمد على كفاءة نظافة سطح الاسنان وخواص وكمية زيت التزييت وسرعة العجلات المسننة، ومقدار الحمل المنقول ، تعتبر هذه الفواقد هى الاساسية. ولقد بينت التجارب أن كل هذه العوامل تؤثر على قيمة معامل الاحتكاك f ، فهو ينخفض بزيادة لزوجة الزيت، وسرعة الانزلاق والسرعة المحيطية.

ووفقا للعوامل المذكورة اعلاه فان معامل الاحتكاك f يمكن أن يتغير فى الحدود من ٠٥ر٠ الى ١ر٠ ويزيد معامل الاحتكاك بحدة

فى وسائل نقل الحركة المفتوحة ويصل الى قيمة ٧ر٠ - ٨ر٠ وبالنسبة لوسائل نقل الحركة ذات العجلات من اللدائن يكون المعامل $f \leqslant 0.08$ وذلك بفضل الخواص العالية المضادة للاحتكاك.

ويمكن حساب المتوسط التقريبى لقيمة الفاقد فى التعشيق عند نقل قدرة N بالكيلووات من الصيغة * .

$$N_{lc} = \frac{\pi \varepsilon f}{2} \left(\frac{1}{z_1} \pm \frac{1}{z_2} \right) N \text{ kW} \tag{15.5}$$

وتعتمد قيمة الفاقد فى القدرة لرج الزيت، على السرعة المحيطية v متر/الثانية، وعرض العجلة المسننة b بالسم، ولزوجة الزيت ν بالسنتيستوك، ومجموع عدد الاسنان الكلية، وتحسب هذه القيمة تقريبا من الصيغة التجريبية

$$N_{l\ ch} = 75 \times 10^{-6}\, vb \sqrt{\frac{200\, v\, \nu}{z_1 + z_2}} \text{ kW} \tag{15.6}$$

ويكون الفاقد الاجمالى فى القدرة

$$N_l = N_{le} + N_{l\ ch} + N_{lb}, \tag{15.7}$$

حيث N_{lb} - القدرة المفقودة فى كراسى المحاور (انظر ص ٥٥٢).

تحدد كفاية وسيلة نقل الحركة بالصيغة (12.2).

وبغرض زيادة كفاية وسيلة نقل الحركة، يلزم تنفيذ الوسيلة باكبر عدد من الاسنان (مع الاحتفاظ بأقطار العجلات المعطاة)، وتوفير درجة عالية من كفاية اسطح الاسنان، واستخدام نريت تزييت ذىاللزوجة الامثل. وعند الاستغلال يجب تحميل وسيلة نقل الحركة باقصى حمل مسموح به بقدر الامكان، اذ انه مع تقليل الحمل تنخفض كفاية وسيلة نقل الحركة (انظر ص ١٨٩).

والقيم التقريبية لكفاية وسيلة نقل الحركة بالتروس الانفوليوتية بدرجة واحدة، وبتروس من الدرجة السادسة أو الثامنة من الدقة، وبأعمدة ذات كراسى محاور تدحرج (اسطوانية أو كروية) $\eta = 0.98 \div 0.96$ ووسائل نقل الحركة من طراز نوفيكوف لها كفاءة اداء تزيد بنسبة ١ ٪ تقريبا عن نقل الحركة بالتروس الانفوليوتية .

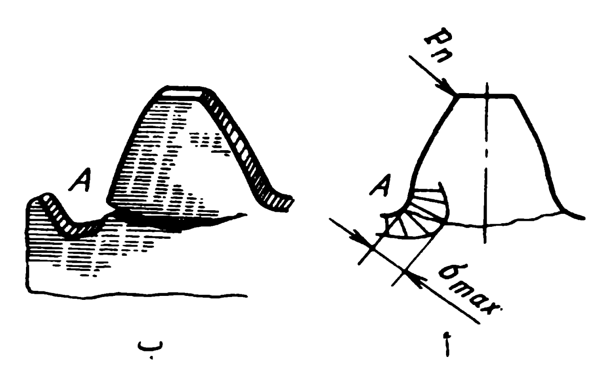
انواع اعطاب الاسنان. تعتبر من الاعطاب النمطية : تكسر الاسنان، وتفتت اسطح التشغيل وسحقها، وعضها وتشوهها اللدن.

ويحمل كسر الاسنان فى الاساس الطابع الكلالى. فتحت تأثير الاحمال المتغيرة (عند الدخول التالى للسنة فى التعشيق) يظهر عند جذر السنة اجهادات للثنى متغيرة. ونتيجة للتغير الحاد فى

---

* الاشارة (+) للتعشيق الخارجى والاشارة (−) للتعشيق الداخلى .

شكل السنة ، فى منطقة المنحنى الانتقالى يحدث تركيز للاجهـادات (الشكل ١٥ - ١٠ ، أ) . ويمكن أن تظهر شروخ فى منطقة التركيـز الاقصى للاجهادات من جهة الشد A عند عدد معين من دورات الاجهادات (الشكل ١٥ - ١٠ ، ب) . وفى الاسنان الطويلة المستقيمة، والمائلة والمتعاكسة تنتشر الشروخ فى البدائة على طول قاعدة السنة، وبعد ذلك تسرى الى القمة بارتفاع السنة أو بمستوى مائل فى المقطع الذى تصبح فيه الاجهادات قصوى.



الشكل ١٥ - ١٠

ويمكن ان يؤدى التحميل الزائد كثيرا الى الكسر الفجائى فى الاسنان. وتلاحظ الكسور من هذا النوع اكثر ما تلاحظ فى العجلات المسننة المصنوعة من المواد القصيفة (الحديد الزهر، والصلب المقسى) . وتركيز الاحمال عند اطراف الاسنان (انظر ص ٢٧٥) يمكن ايضا أن يؤدى الى الكسر. والتحميل الزائد قليلا ولكن المؤدى الى حدوث اجهادات تتجاوز حد الخضوع يمكن ان يؤدى الى حدوث تشوهات ثنى متبقية.

وفى وسائل نقل الحركة من طراز نوفيكوف ، نتيجة للتطبيق الموضعى للحمل ، كثيرا ما تتحطم اجزاء السنة الوسطى طوليا ، حيث انه فى هذه المنطقة ينقل الحمل كله زوج واحد من الاسنان وأسنان الترس أقل سمكا عند قاعدتها من سمك اسنان العجلة المسننة ، ولذلك فهى اقل متانة . وأسنان وسائل نقل الحركة ذات خطى التعشيق تكون اكثر متانة .

ومقاومة الاسنان للكسر يمكن زيادتها عن طريق زيادة ابعاد قاعدة السنة وبتقليل تركيز الاجهادات فى المقطع الخطر بطريقة زيادة نصف قطر منحنى الانتقال ورفع دقة التصنيع وزيادة الخواص الميكانيكية لمادة العجلة المسننة. ويعتبر التصحيح الايجابى فى التعشيق الانفوليوتى ذا فعالية بنوع خاص. يوضح الشكل ١٥ - ٥ وضعين لجريدة عاملة بالنسبة للعجلة الجارى تفتيح اسنانها عندما تكون $\varepsilon = 0$ وعندما تكون $\varepsilon > 0$.

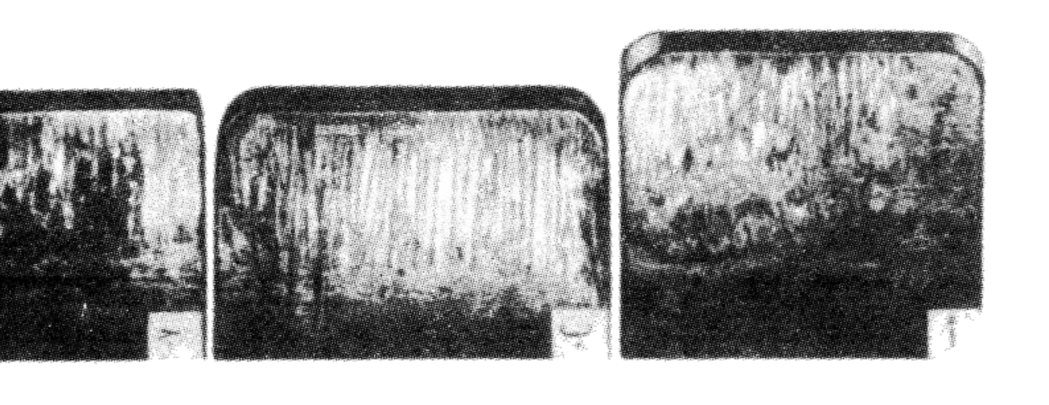
وعند الازاحة الموجبة للعدة القاطعة يزيد سمك الاسنان عند قواعدها وبالتالى تزيد متانة القواعد .

وتفتت اسطح التشغيل فى الاسنان (الشكل ١٥ - ١١ ، أ) يعتبر اكثر الاسباب لعدم صلاحية وسائل نقل الحركة للاستغلال تلك الوسائل العاملة فى فيض من الزيت. وتبدأ شروخ الكلال فى البداية بالقرب من الخطر القطبى حيث انه فى هذه المنطقة نتيجة لسرعة للانزلاق الصغيرة، يكون معامل الاحتكاك، وبالتالى قوة

الاحتكاك واجهاده اكبر ما يمكن على السطح. الا ان هذه الشروخ تتنامى حتى ظهور التفتت فى الاساس اسفل الخط القطبى أى عند جذور الاسنان (انظر ص ٤) واولى الحفرات تظهر (فى عرض العجلة المسننة) فى منطقة تركيز الحمل أو فى مواضع عدم انتظام السطح ، المتبقية بعد عملية تشطيبه. وفى اثناء عملية التشغيل يتنامى عدد الحفرات ويزيد بعضها فى ابعاده. ويتشوه شكل السنة ويصبح سطحها غير مستو، وتتزايد الاحمال الديناميكية. ونتيجة لهذا تشتد عملية التفتت، ويتحطم سطح تشغيل السنة اسفل الخط القطبى. ويشتد تسخين وسيلة نقل الحركة والضوضاء الناتجة عنها.

وفى الوسائل المفتوحة لنقل الحركة حيث لا يكون فيها زيت تزييت أو حيث تكون كميته غير كافية فلما يلاحظ التفتت بالاسباب المذكورة اعلاه (انظر ص ٤).

وعندما تكون صلابة السطح اقل من HB 350 ، يلاحظ تفتت محدود ، ويظهر فى قطاع غير كبير من السنة، حيث يتركز الحمل. ويمكن



الشكل ١٥ - ١١

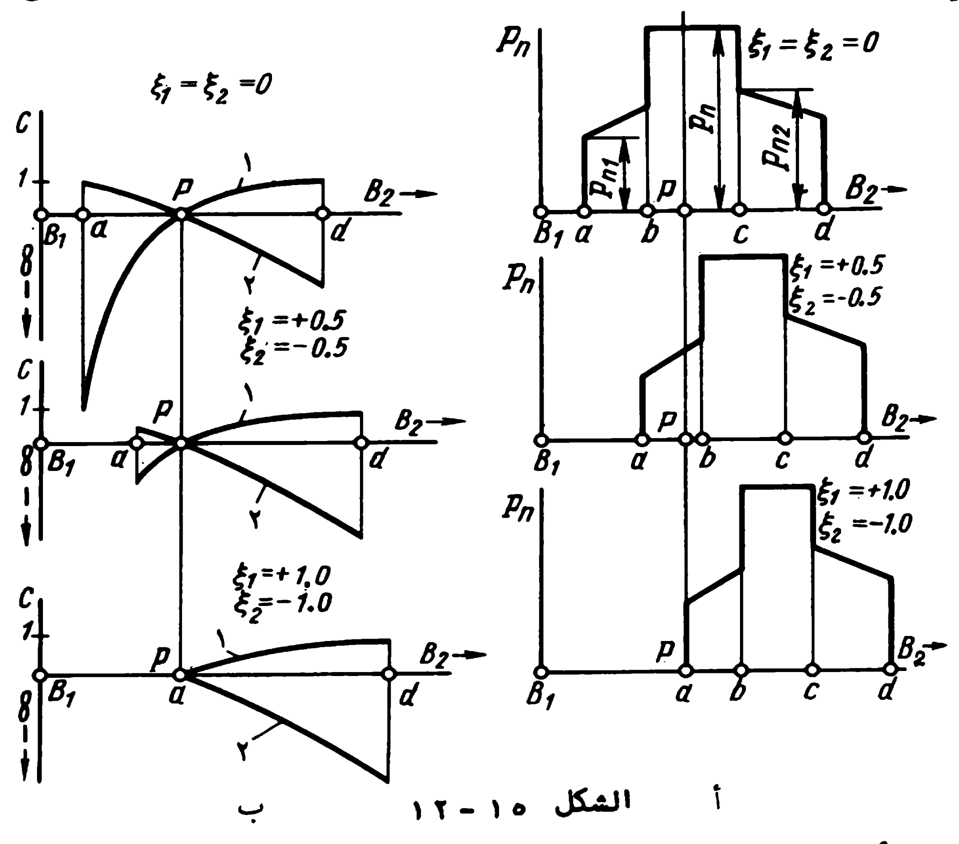
لهذا التفتت أن يتوقف بعد بعض التشغيل. وعند تأثير زيادة التحميل الكبيرة تنتشر عملية تكون الحفرات بواسطة التفتت على سطح السنة على طولها كله. ويلاحظ التفتت المتنامى عند صلابة سطح الاسنان التى تزيد عن HB 350 أو تساويها. وفى هذه الحالة لا تستدير حافة حفرات التفتت كما فى حالة الاسطح اللينة، بل انها تتكسر، وتنتشر الشروخ من الحفرة الابتدائية وتصيب كل سطح التشغيل تدريجيا عند جذور الاسنان.

ولقد اثبتت خبرة التشغيل والابحاث التجريبية على وسائل نقل الحركة انه كلما زادت لزوجة الزيت اكثر، زاد معها حد الاطاقة فى السحق للانسان . وزيت التزييت الاكثر لزوجة قادر على اخماد الاحمال الديناميكية على الاسنان مزيدا بذلك عمر تشغيل العجلات المسننة.

ويمكن رفع مقدرة اسطح الاسنان علي مقاومة التفتت بزيادة متانة

هذه الاسطح (فكلما كانت اسطح الاسنان اكثر صلادة ونعومة كان الحمل الذى تقدر على تحمله اكبر)، وبزيادة انصاف اقطار تقوس شكل الاسنان فى منطقة التماس وبواسطة الاختيار السليم لزيت التزييت.

وبمساعدة تصحيح الارتفاع (عندما تكون $\xi_1 > 0$ و $\xi_2 = -\xi_1$) يمكن نقل الجزء الفعال من خط التعشيق فى اتجاه بحيث يصبح القطب فى منطقة التعشيق بزوجين من الاسنان، وعند ذلك ستكون قطاعات اسطح تشغيل الاسنان المعرضة لخطر التفتت، محملة اقل حيث انه خلال هذه الفترة سينقل الحمل زوجان من الاسنان فى آن واحد. وطابع تغير الحمل على الاسنان فى حالة تصحيح الارتفاع فى وسيلة نقل الحركة بالاسنان المستقيمة بالنسبة ل $i = 4$ مبين فى الشكل



ب الشكل ١٥ - ١٢ أ

١٥ - ١٢، أ (B_1B_2 - خط التعشيق وفيه النقط المميزة a, b, c, d وفقا للرسم ١٥ - ٦).

وباستعمال التصحيح ذى معامل الانحراف المجموعى الموجب للعدة القاطعة ($\xi_2 + \xi_1 > 0$) - وهو ما يسمى التصحيح الزاوى - نحصل على نقل الحركة بوسيلة بها زاوية التعشيق α مزادة. ويؤدى هذا الى زيادة انصاف اقطار تقوس اشكال الاسنان فى منطقة خط الاقطاب وبناء على ذلك يؤدى الى زيادة مقاومة التفتت وبمساعدة التصحيح الزاوى يمكن ضمان زيادة الحمل المنقول بأمان بنسبة ٣٠ ٪ .

ويظهر فى وسائل نقل الحركة من طراز نوفيكوف التفتت فى المعتاد فى الاسنان المقعرة بالقرب من خط التعشيق، حيث أن أقل متانة تماس تسود جذور الاسنان فى منطقة السرعات الدنيا للانزلاق. والاسنان المقعرة الموجودة داخل محيط الاساس تتكون

بناء على ذلك من جذور فقط، أما بالقرب من خط التعشيق فتكون سرعات الانزلاق بحدها الادنى . ويغرض تلافى التفتت عند قمة السنة المقعرة، يمكن تغيير شكلها بشطبها (شطفها) .

ويعتبر تآكل السنة نتيجة لتآكل اسطحها العاملة بالاحتكاك (الشكل ١٥ - ١١ ، ب) . وفى وسائل نقل الحركة المغلقة يكون تآكل الاسنان بالاحتكاك كقاعدة عامة أقل من وسائل نقل الحركة المفتوحة . وسيكون تآكل الاسنان اكبر كلما زاد الانزلاق النوعى للاسنان وكلما زاد اجهاد التماس فى الضغط على هذه الاسطح . وحيث أن اقصى انزلاق نوعى يوجد فى نقطتى التماس الابتدائية والنهائية فى الاسنان، فان اقصى تآكل بالاحتكاك يظهر على جذور وقمم الاسنان . ونتيجة للتآكل يتشوه الشكل الانفوليوتى ، ويزيد الحمل الديناميكى ويضعف الجذر مما يؤدى الى زيادة الاجهادات فى منطقة السطح الانتقالى فى السنة.

واذا كان هناك عدم انتظام موجود على الاسطح العاملة فى السنة بسبب التشغيل (المعالجة) ، يلاحظ فى بداية عمل وسيلة نقل الحركة تآكل ملموس فى الاسنان . وبعد ان يتم تنعيم عدم الانتظام هذا وتصبح ارتفاعاته اقل من سمك طبقة الزيت الرقيقة بين الاسنان ، يقل معدل التآكل .

ان عدم كفاية سمك طبقة الزيت الرقيقة، التى لا توفر الاحتكاك السائل ، تساعد على تشديد التآكل بالاحتكاك . ويعتمد سمك الطبقة الرقيقة للزيت على لزوجته ، وعلى السرعة المحيطية للعجلات المسننة وعلى الحمل . واذا ماروعيت كل الشروط الضرورية، وكان سمك الطبقة الرقيقة للزيت اثناء العمل الهادئ لوسيلة نقل الحركة كافيا ، فانه عند التحميل الزائد عن الحد وخصوصا فى فترات بدء التشغيل والايقاف لوسيلة نقل الحركة، يمكن أن يصبح هذا السمك غير كاف . ويساعد زيت التزييت المحتوى على شوائب من جسيمات حاكة على تشديد التآكل بالاحتكاك .

ويمكن تخفيض تآكل الاسنان بمساعدة التقليل من قيمة الانزلاق النوعى واجهادات التماس فى الضغط، وبزيادة مقاومة أسطح الاسنان للتآكل بالاحتكاك، وبالاختيار الصحيح لزيت التزييت. ومن أجل التقليل من التآكل بالاحتكاك يلزم السعى الى "تسوية" الانزلاق النوعى ، أى الى أن تصبح قيمتاه لاسنان الترس القائد والعجلة المنقادة اقرب ما يمكن لبعضها البعض. ويتم التوصل الى هذا باختيار معاملى الازاحة ξ_1 ، ξ_2 . ويعطى الشكل ١٥ - ١٢ ، ب فكرة عن تغيير الانزلاق النوعى بالنسبة لوسيلة نقل الحركة بها $i = 1$ ، $\alpha_p = 20°$ (المنحنى 1 ـ للترس القائد ، والمنحنى 2 ـ للترس المنقاد) .

ويظهر عض الاسنان فى انه تحت تأثير الضغوط المرتفعة فى منطقة الطبقة الرقيقة المضغوطة لزيت التزييت نجد أن الاسطح المقترنة

للاسنان تشتبك فى بعضها البعض بقوة بحيث أن جزيئات سطح السنة الاكثر ليونة تلتحم بسطح اسنان عجلة الازدواج . وعند الحركة النسبية التالية بين الاسنان، تسبب الجزئيات الملتحمة اخاديد على السطح الملامس لها (الشكل ١٥ - ١١، جـ).

ويمكن أن تتحطم الطبقة الرقيقة لزيت التزييت، أو لا تتكون بالمرة، اذا كان الضغط كبيرا، أما السرعة التى ينزلق بها الزيت الى منطقة التعشيق فتكون غير كافية، ويلاحظ هذا فى وسائل نقل الحركة البطيئة وذات الاحمال الكبيرة. وفى وسائل نقل الحركة السريعة يحدث تمزق الطبقة الرقيقة للزيت.

نتيجة لفقده لزوجته من جراء ارتفاع درجة الحرارة فى منطقة الاحمال الكبرى وسرعات الانزلاق الكبرى.

ويؤثر تأثيرا كبيرا على ظهور ظاهرة العض، اختيار مواد زوج الترس القائد والعجلة المنقادة، وصلادة وكفاءة اسطح التشغيل فى الاسنان، والمتغيرات الهندسية للتعشيق، ونوع ولزوجة زيت التزييت. فمع زيادة صلادة اسطح الاسنان تقل خطورة حدوث العض. ويمكن عن طريق التصحيح التوصل الى تخفيض الانزلاق النوعى (الشكل ١٥ - ١٢، ب) وتلافى ظهور العض وبتعريض الاسنان للتشغيل تحت تأثير الحمل المتزايد تدريجيا، يمكن تحسين نوعية اسطحها وزيادة الحمل النافع فى وسيلة نقل الحركة بدون خوف من وقوع العض.

وفى وسائل نقل الحركة البطيئة يتم تلافى حدوث العض باستخدام زيوت تزييت ذات لزوجة اكبر، أما فى الوسائل السريعة فباستخدام زيوت تزييت مضادة للعض، أى زيوت تزييت محتوية على اضافات تعيق التحام جزئيات المعدن بالاسنان المتلامسة (اضافات كبريتية كلورية فسفورية، والصابون الرصاصى أو بحامضى الاوليوميك والنافتينيك).

وتلاحظ التشوهات اللدنة فى اسنان العجلات المسننة المصنوعة من الصلب ولتحمل الاحمال الثقيلة. فتحت تأثير قوى الاحتكاك تزاح بعض جزئيات الطبقة السطحية من معدن اسنان العجلة المسننة القائدة تزاح مبتعدة عن القطب والجزئيات المناظرة فى العجلة المسننة المنقادة تزاح مقتربة من القطب، ومن نتيجة هذا تتكون قناة (مجرى) على طول خط الاقطاب فى الاولى، أما فى الثانية فيتكون نتوء على طول نفس الخط. وتظهر التشوهات اللدنة هذه بشكل اشد فى الاسنان المصنوعة من الصلب وذات الصلادة غير الكبيرة وخصوصا فى حالة التزييت غير الكافى وكذلك فى وسائل نقل الحركة بالسرعات البطيئة. وعند استخدام زيوت اكثر لزوجة نقل قوى الاحتكاك ومعها خطورة حدوث التشوهات اللدنة.

فى وسائل نقل الحركة المصممة والمنفذة تصميما وتنفيذا سليمين لا يجب أن تظهر الاعطاب خلال عمر الخدمة المعنى اذا كان تشغيلها اعتياديا وفى حالة اعطاب الاسطح العاملة فى الاسنان

ترتفع درجة حرارة وسيلة نقل الحركة وتشتد الضوضاء فيها.
والاخطاء الدورية فى الخطوة وشكل السنة وعدم انتظام التحميل على السنة وعدم الاتزان الاستاتيكى والديناميكى للاجزاء الدوارة تعتبر كلها الاسباب الاساسية للضوضاء (الضجيج).
والحمل غير المنتظم على الاسنان والتشوه المتغير للاسنان اثناء عملية التعشيق يجلبان ذبذبة العجلات المسننة. وحتى الذبذبات الضئيلة فى العجلات المسننة، المنقولة من خلال الاعمدة وكراسى المحاور الى الجسم، يمكن أن تؤدى الى تذبذبه، ويصاحب هذا التذبذب ضجيج شديد. وتغير تشوهات الاسنان المعشقة فى وسائل نقل الحركة ذات الاسنان المائلة اقل كثيرا من نظيره فى حالة الاسنان المستقيمة، لذلك فان عجلات وسائل نقل الحركة الهامة تصنع باسنان مائلة أو متعاكسة ذات دقة عالية وذلك لتخفيض الضجيج والاحمال الديناميكية.

اجزاء وسائل نقل الحركة بالتروس

<u>المواد</u>. يجب اختيار المواد للعجلات المسننة بحيث أن يكون ممكنا تشكيل اسنان فيها وتشطيبها بالدقة المعينة وبكفاءة معينة لاسطحها، وبحيث تضمن متانة كافية فى حالة الثنى تحت تأثير الاحمال المتغيرة واحمال الصدمات، ومتانة كافية للطبقة السطحية فى الاسنان ومقاومة عالية للسحق.
والصلب والحديد الزهر واللدائن تعتبر المواد الاساسية لتجهيز العجلات المسننة. والسعى نحو تخفيض الابعاد فى وسائل نقل الحركة ذات القدرات العالية فى وحدة ما، والسعى نحو زيادة السرعات قد أديا الى التوسع فى استخدام العجلات المسننة المصنوعة من الصلب.
وعند استخدام العجلات المسننة ذات الصلادة العالية لاسطح التشغيل فى اسنانها، تقل خطورة ظهور اعطاب اسطح الاسنان. لذلك تستخدم المواد والمعالجة الحرارية بحيث يتم الحصول على عجلات مسننة بدقة لازمة مع اقصى حد للصلادة يمكن التوصل اليه فى الاسطح العاملة وذلك مع الطريقة المختارة لتشكيل الاسنان.
ولقد حصل الصلب الكربونى ذو نسبة الكربون من ٠٫٣٥ حتى ٠٫٥٠ ٪ (انواع الصلب غير السبائكى 35 ، 40 ، 50 ، 50Г ، والصلب السبائكى 45XH ، 40X ، حصلت على أوسع انتشار فى وسائل نقل الحركة ذات الاغراض العامة.
واذا كانت اسنان العجلات المسننة يتم تشكيلها بعد المعالجة الحرارية النهائية لمادتها مما يستبعد تأثير الاخيرة على دقة

التعشيق فان اقصى صلادة سطح مسموح بها لا يجب ان تتجاوز HB 320 – 350 . ويتم التوصل لهذه الصلادة بواسطة عمليتى التحسين أو المعادلة (normalizing) . علما بأن ابعاد مقاطع العجلات تؤثر كثيرا فى الخواص الميكانيكية الناتجة بعد المعالجة الحرارية. ويفسر هذا بانه مع زيادة ابعاد مقاطع العجلات تقل سرعة تبريدها، واذا ما اصبحت السرعة اقل من حد معين فتحدث تقسية غير كاملة. ويؤثر تأثيرا أقل كثيرا ابعاد مقاطع العجلات المصنوعة من صلب السبائك. لذلك فانه اذا ما كان ضروريا الحصول على صلادة عالية فى حالة المقاطع الكبيرة للخامات شبه المصنعة، يستحسن استخدام صلب السبائك.

ولغرض الزيادة الملموسة فى المقدرة على الحمل، ولتقليل ابعاد وسيلة نقل الحركة تستخدم العجلات ذات صلادة اسطح اسنانها الاعلى من HB 350 ويتم التوصل لهذا بواسطة التقسية الكاملة أو السطحية، وبعملية التصليد الاسمنتى، والسيانيدى أو الازولتى. ويتم تشكيل اسنان هذه العجلات قبل المعاملة الحرارية النهائية.

وفى حالة التقسية الكاملة تستخدم انواع الصلب الكربونى والسبائكى مع نسبة كربون من ٣٥ر٠ الى ٥٠ر٠ ٪، والصلادة الناتجة تعتمد على نسبة الكربون ويمكن ان تصل الى HRC 50 – 56 . ولتصنيع العجلات المسننة فى وسائل نقل الحركة الهامة، اذا كان محتملا تعرضها لزيادة الاحمال وللصدمات، تستخدم انواع الصلب 40XHMA , 40XH وفى اكثر الاحيان الصلب 40X .

ومن عيوب التقسية الكاملة اعوجاج العجلات وانخفاض صلابة قلب الاسنان، مما يقلل مقدرة الاسنان على مقاومة الثنى تحت تأثير أحمال الصدمات. والصلادة القصوى لقلب الاسنان بالنسبة لانواع الصلب الكربونى لا يجب أن تزيد عن HRC 45 أما بالنسبة لانواع صلب السبائك فلا تزيد عن HRC 50 ، وفى اسوأ الحالات تقل بشدة متانة الصدمات. وتتلافى التقسية السطحية هذه العيوب، اذ انها توفر صلادة عالية فى الاسطح مع المحافظة على صلابة المعدن غير المقسى. وتنفع طريقة المعالجة الحرارية هذه للعجلات الكبرى وخصوصا بالنسبة للعجلات ذات المقاطع الكبرى، حيث انها تسمح باستخدام انواع الصلب الكربونى بدلا من السبائكى مع التقسية الاعتيادية. ويمكن أن تصل صلادة السطح الى HRC 51 – 57

ويعتبر التصليد الاسمنتى طريقة اخرى لرفع درجة صلادة الاسنان دون التعرض لصلابة قلبها، وتجرى هذه العملية على أنواع الصلب ذى نسبة الكربون من ١ر٠ الى ٢ر٠ ٪ (أنواع الصلب 15 ، 20 ، 15X ، 20X) وصلادة الطبقة المقساة اسمنتيا تصل الى HRC 56 – 63 .

وانواع الصلب الكربونى 15 ، 20 المعرضة للتصليد الاسمنتى تستخدم فى تصنيع العجلات المسننة نادرا نسبيا حيث أن المعدن الموجود تحت القشرة ردىء فى مقاومته سواء لاجهادات التماس وللاجهادات

الحجمية فى الثنى ، فعند الاحمال الكبيرة يلاحظ تقشير (انفصـــال) القشرة الصلدة . والصلب المسبك بالكروم من النوعين 15X ، 20X يضمن نوعية احسن للعجلات واعوجاج اقل فيها ، ومتانة أعلى فى قلـــب اسنانها . وتتمتع انواع الصلب السبائكى المصلدة اسمنتيا بمقاومة عاليـة للتآكل .

وعندما تؤثر على وسيلة نقل الحركة احمال زائدة أو أحمال صدمات (مثل العجلات المسننة فى سيارات النقل ، ومخفضات السرعة فى الطائرات وغيرها) تستخدم أنواع الصلب الكرومى النيكلى 20X2H4A , 12XH3A ، والصلب الكرومى الفانيدى 15XΦ ، وصلب الكروم المنجنيزى والتيتانيـوم 18XΓT وغيرها من أنواع صلب السبائك .

وبغرض ازالة التشوهات التى تسببها المعالجة الحرارية لعناصـــر التعشيق تجلخ الاسنان .

ويمكن الحصول على الصلادة العالية للسطح بواسطة التقســيـــة الازوتية أو بالسيانيد . والاعوجاج الناتج من هذا يكون ضئيلا فـى العجلات لذلك تنتفى ضرورة التجليخ التالى للاسنان . وكثيرا مـا تجرى عطية التقسية الازوتية على العجلات ذات الاسنان الداخليـة . وتصنع العجلات المسننة والمقساة تقسية آزوتية من صلب 38XMЮA . والطبقة المقساة آزوتيا والصلبة لها سمك غير كبير (٣ر٠ - ٥ر٠ مم) ، لذلك فالعجلات ذات الاسنان المقساة آزوتيا تستخدم فى حالة تأثير حمل هادئ فى مخفضات السرعات ذات التزييت الجيد وذلك لتجنب أو لتبطؤ التآكل الحاك .

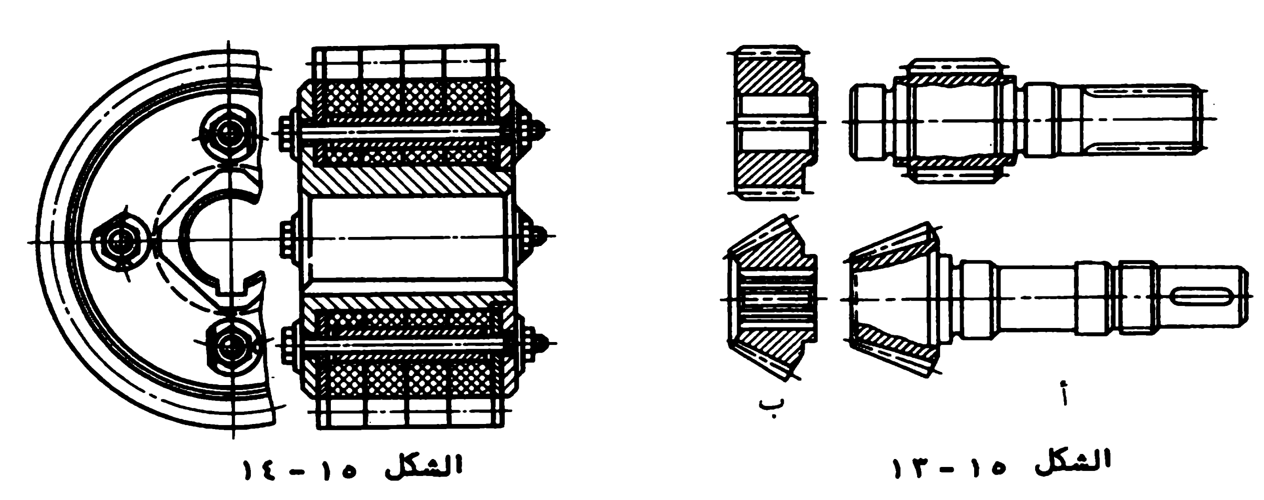
وعجلات وسائل نقل الحركة الضخمة تصب من الصلب . وبغرض ضمـان مقاومة كافية للتآكل بالاحتكاك ، يجب أن تتضمن مادة الصلب المسبـك ٣٥ر٠ - ٥٥ر٠ ٪ من الكربون (صلب 35Л و 55Л) . والمسبوكات المصنوعة من الصلب يجب ان تعرض لعطية تخمير أو معادلـــــة (normalizing) .

والعجلات المسننة تصنع ايضا من الحديد الزهر الرمادى 48 - 28 CЧ ، 52 - 32 CЧ ، 56 - 35 CЧ ، ومن الحديد الزهر المطـــروق ولوسائل نقل الحركة الاقل اهمية يمكن استخدام الحديد الـزهــر الرمادى 44 - 24 CЧ ، 32 - 15 CЧ ، 36 - 18 CЧ ، 40 - 21 CЧ ومتـانـة التماس لانواع الحديد الزهر عالية بدرجة كافية ، ومقدرة الاسنـــان المصنوعة من الحديد الزهر على مقاومة الثنى ولأحمال الصدمات اقـل من الاسنان المصنوعة من الصلب . ولهذا السبب فان العجلات المسننـة المصنوعة من الحديد الزهر تستخدم فى وسائل نقل الحركة بطيئـة السرعات وقليلة الحمل والمفتوحة ، والاندر أن تستخدم فى الوسائـل المغلقة لنقل الحركة .

والعجلات المسننة المصنوعة من اللدائن (البلاستيك) تستخدم اذا كان من اللازم ضمان تشغيل بدون ضجيج ، وجسم وسيلة نقل الحـركـة

غير جاسئ ، ويستحيل توفر وضع سليم متبادل بين العجلتين . والتكستوليت واللدائن الطبقية المصنوعة من نشارة الخشب ، والنايلون والكبرون ، كلها تعتبر اكثر المواد انتشارا . ويصنع الترس القائد في المعتاد من اللدائن (البلاستيك) ، أما العجلة المنقادة فتصنع من الصلب أو من الحديد الزهر بصلادة سطح HB ⩾ 250 ؛ وفي ذلك تكون مقدرة وسيلة نقل الحركة على التحمل محددة بمتانة الترس القائد المصنوع من البلاستيك.

والعجلات المسننة المصنوعة من البلاستيك وذات التعشيق المتجاوب مع المحيط الأساسي النمطي قادرة على نقل حمل أقل كثيرا من نظائرها المصنوعة من الصلب بسبب متانة الكسر الاقل في الاسنان. فمثلا بان زوج التروس ذات الاسنان المستقيمة المصنوعة من الصلب - التكستوليت يمكنه أن ينقل حملا أقل بأربع او خمس مرات من وسيلة نقل الحركة المصنوعة من العجلات المسننة المحسنة من الصلب . ومقدرة وسيلة نقل الحركة ذات العجلات المسننة المصنوعة من البلاستيك ، على الحمل يمكن زيادتها باستعمال محيط أساس خاص ذى زاوية تشكيل صغيرة وبارتفاع مزاد للاسنان . وحيث أن معامل المرونة الطويلة للبلاستيك أقل من معامل المرونة الطولية للصلب بمقدار ٢٠ - ١٧٠ مرة، فان تشوه الاسنان المصنوعة من البلاستيك اكبر كثيرا من نظيراتها المصنوعة من الصلب ، ولذلك فمع تساوى دقة التشغيل ، ففي هذه الحالة سوف تنقل الحمل عدة أزواج من الاسنان في آن واحد .

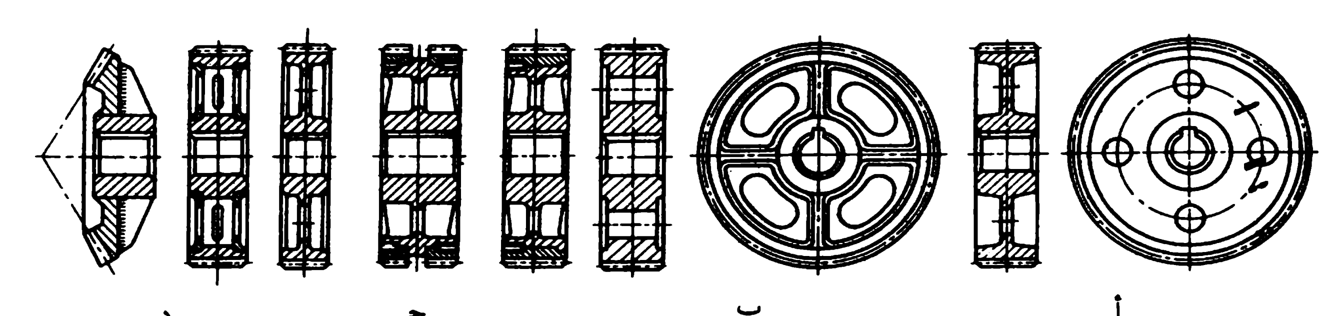


الشكل ١٥ - ١٤   الشكل ١٥ - ١٣

<u>تصميم التروس القائدة والعجلات المسننة.</u> اذا كان قطر اسطوانة الجذر في الترس (root cirde) لا يختلف كثيرا عن قطر العمود ، يصنع الترس (pinion) قطعة واحدة مع العمود (الشكل ١٥-١٣ ، أ) . وميزات هذه التركيبة : التقليل من المعالجات الميكانيكية ، وعدم وجود وصلات الخابور أو غيرها ، وزيادة الجساءة، وزيادة دقة التعشيق. أما اذا كان قطر اسطوانة الجذر للترس اكبر كثيرا من قطر العمود ، يصنع الترس منفصلا عن الاخير ويركب عليه (الشكل ١٥-١٣ ، ب) .

وتصميم ترس قائد من التكستوليت ممثل فى الشكل ١٥ - ١٤ : تركب ألواح من التكستوليت على جلبة من الصلب التى تركب بدورها على العمود .

والعجلات المسننة المصنوعة من الصلب وذات الاقطار الاقل من ٥٠٠مم تصنع بالطرق أو بالكبس (تبعا لحجم الانتاج). وفى حالة الاقطار الكبيرة للعجلات المسننة تصنع الاخيرة بالسبك أو بالتوصيل (fabricated) وفى الحالات النادرة تقابل عجلات مشكلة بالحدادة بأقطار اكبر من ٥٠٠ مم . وتصنع العجلات بالحدادة على هيئة تركيبة من قرص بحافة وسرة (الشكل ١٥ - ١٥، أ) أو قرص



الشكل ١٥ - ١٥

مصمت بدون تجويفات . والتصميم الاول أخف وزنها الا أنه يتطلب تشغيلا ميكانيكيا اكبر. أما العجلات المسننة المصمتة بدون تجويفات فاسهل فى صناعتها ، الا أنها ثقيلة عندما تكون عريضة ولا تسمح بالحصول على خواص ميكانيكية متجانسة بالنسبة للأسنان بعد المعالجة الحرارية .

ولتيسير تثبيت العجلات على ماكينات التشغيل عند تشغيلها ، يوصى بصنع فتحات (نوافذ) فى الاقراص بين الحافة والسرة. وتصنع مثل هذه الفتحات بأقطار كبيرة بغرض تخفيف وزن العجلات.

والعجلات المسبوكة ذات الاذرع المتصلبة تستخدم للأقطار $D_e \leqslant 1000$ mm ، وللعرض $B < 200$ mm (الشكل ١٥ - ١٥ ، ب). أما اذا كان $D_e > 1000$ mm وكانت $B > 200$ mm فتسبك العجلات بأذرع على شكل حرف I مزدوجة . والعجلات ذات الابعاد الكبيرة ($B > 600$ mm , $D_e > 2000$ mm) فيجب صناعتها بسرة مشقوقة لتلافى تكسر الاذرع عند التبريد تحت تأثير الاجهادات الحرارية المتسببة من عدم انتظام توزيع المادة.

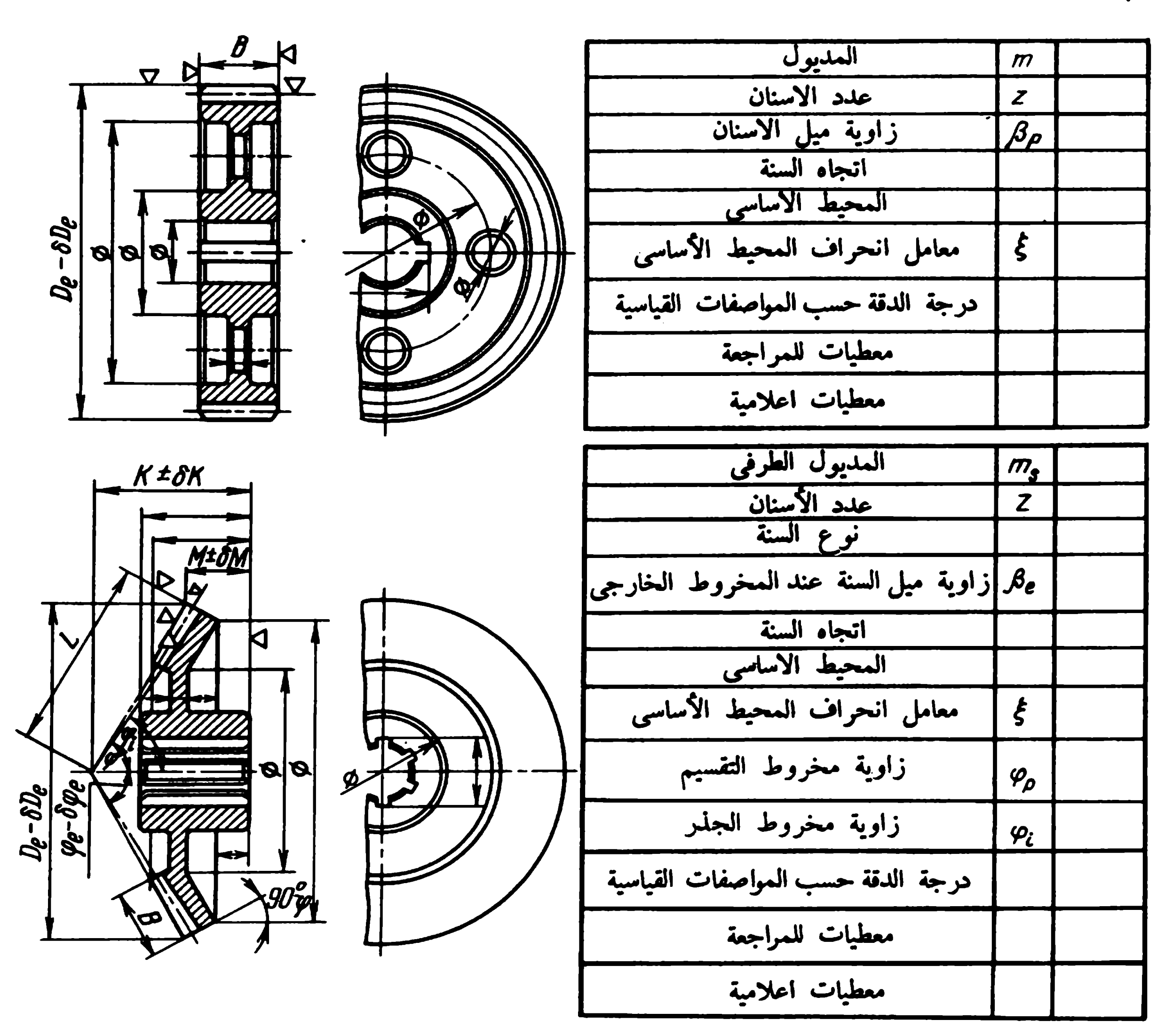
وبغرض الاقتصاد فى صلب السبائك تنفذ العجلات المسننة الكبرى بواسطة طريقة الطوق (rim) وفى هذه الحالات يصنع مركز العجلة بالسباكة من الحديد الزهر (مثلا СЧ 15 – 32)، والاندر أن تكون من الصلب ، أما الطوق (الشكل ١٥ - ١٥ ، ج) فينفذ بالحرارة أو من الصلب المدلفن الذى تتحدد ماركته بحساب الاسنان على المتانة. وعندما يكون عرض العجلة المسننة اكبر من ٥٠٠ مم، يصنع طوقان. وتركيب الطوق على مراكز العجلات يكون بواسطة التوافق على الساخن. ولتثبيت الاطواق بمركز العجلة توضع فى محيطه لوالب حاكمة.

وفى حالة الانتاج بالقطعة وكذلك بغرض تخفيف وزن العجلات تنفذ الاخيرة بواسطة اللحام (الشكل ١٥ - ١٥،د). وعند التصنيع يولى اهتمام خاص بضمان الجساءة اللازمة.

والعجلات المسننة التى لا تتحرك على طول العمود ، تثبت على العمود بالتداخل (interference fit) اما بالكبس أو بالكبس الخفيف من الدرجة الثانية (press fit 2^{nd} class). وتستخدم الاولى فى حالة أحمال الصدمات أو للسرعات الاعلى من ٢٠٠٠ لفة فى الدقيقة.

واذا كان ينتظر ضرورة فك العجلة المسننة (عند تآكل أسنانها أو تغيير كراسى المحاور .. الخ) فيوصى باستخدام اقتران انتقالى - ثقيل (drive fit medium force fit , force fit, heave fit أو الضيق (force or drive fit

وعلاوة على البعدين الاساسيين D_e ، B الموقعين مباشرة على رسم العجلة المسننة (الشكل ١٥ - ١٦) يبين فى الجدول



المديول	m	
عدد الاسنان	z	
زاوية ميل الاسنان	β_p	
اتجاه السنة		
المحيط الأساسى		
معامل انحراف المحيط الأساسى	ξ	
درجة الدقة حسب المواصفات القياسية		
معطيات للمراجعة		
معطيات اعلامية		

المديول الطرفى	m_s	
عدد الأسنان	z	
نوع السنة		
زاوية ميل السنة عند المخروط الخارجى	β_e	
اتجاه السنة		
المحيط الأساسى		
معامل انحراف المحيط الأساسى	ξ	
زاوية مخروط التقسيم	φ_p	
زاوية مخروط الجذر	φ_i	
درجة الدقة حسب المواصفات القياسية		
معطيات للمراجعة		
معطيات اعلامية		

الشكل ١٥ - ١٦

المعطيات اللازمة لفتح الاسنان ومراجعة التعشيق وهى z , m , β_p , ξ والمحيط الاساسى ، ودرجة الدقة وغيرها .

دقة وسيلة نقل الحركة. من أجل توفير ظروف العمل الطبيعية

لوسيلة نقل الحركة يجب أن تنفذ عناصر العجلات المسننة والجسم بالدقة اللازمة. وتعين درجة الدقة من اعتبار ظروف عمل وسيلة نقل الحركة وما يطرح عليها من متطلبات. وتبعا لدرجة الدقة والابعاد تحدد سماحات بالنسبة لبعض عناصر التعشيق ووسيلة نقل الحركة ككل، يجب أن مراعاتها عند تفتيح الاسنان وتشطيبها النهائي، وكذلك عند صنع الجسم والاعمدة وكراسي المحاور.

ولقد حددت لوسائل نقل الحركة بالتروس الاسطوانية مواصفة تشمل العجلات المسننة ذات التعشيق الداخلي والخارجي بالاسنان المستقيمة والمائلة والمتعاكسة، وبقطر دائرة التقسيم (pitch circle) يصل الى ٥٠٠٠ مم، وبمديول من ١ الى ٥٠ مم. ودرجات الدقة الاثنى عشرة الواردة فى المواصفات القياسية يستخدم منها أوسع انتشار الدرجات ٦ - ١٠.

وكل درجة من درجات الدقة تحددها المؤشرات التالية: ١ - الدقة الكيناتيكية للعجلة التى تحدد الخطأ الكلى فى زاوية دوران العجلات المسننة لكل لفة واحدة؛ ٢ - انتظام عمل العجلة المسننة والذى يحدد الكمية المكونة للخطأ الكلى فى زاوية دوران العجلة المسننة المتكرر اكثر من مرة فى اللفة الواحدة لها؛ ٣ - التماس الموضعى للاسنان والذى يحدد تمام انطباق الاسطح الجانبية للاسنان المتقارنة؛ ٤ - الخلوص الجانبى الموجود لضمان العمل الطبيعى لوسيلة نقل الحركة عند درجات الحرارة المرتفعة.

وتعتمد درجة دقة وسيلة نقل الحركة على الغرض منها. فمثلا بالنسبة لوسيلة نقل الحركة السريعة يعتبر المطلب الاساسى هو انتظام الدوران، أما النسبة لوسائل نقل الحركة بالسرعات البطيئة وللاحمال الثقيلة - فالتماس الطبيعى على طول الاسنان وبالنسبة للوسائل العاكسة للحركة، فالخلوص الجانبى.

ولقد حددت لوسائل نقل الحركة بالتروس المخروطية مواصفة تنطبق على العجلات المسننة المعدنية ذات الاسنان المستقيمة والمنحنية لأقطار لدائرة التقسيم تصل الـ ٢٠٠٠ مم وبمديول أعلى من ١ حتى ٣٠ مم. واكثر درجات الدقة انتشارا هى من ٧ الى ١١.

وبالنسبة لوسائل نقل الحركة المستخدمة فى مختلف الماكينات يوصى تقريبا بالدرجات التالية للدقة: بالنسبة لمخفضات سرعات الوربينات والماكينات التوربينية - ٣ - ٦؛ وبالنسبة لماكينات قطع المعادن - ٣ - ٨؛ وبالنسبة لسيارات الركاب - ٥ - ٨؛ وبالنسبة لسيارات الشحن - ٧ - ٩؛ وبالنسبة للجرارات - ٨ - ١٠؛ وبالنسبة للمخفضات العامة - ٦ - ٩؛ ولتروس ماكينات الدلفنة - ٦ - ١٠؛ ولمرفاعات المناجم - ٨ - ١٠؛ ولآليات المرفاع - ٧ - ١٠؛ وللماكينات الزراعية - ٨ - ١٠.

وكلما كانت السرعة المحيطية لوسيلة نقل الحركة أعلى ، يجب أن تكون دقتها أعلى . فللسرعة الاقل من ٣٠ مترا/ثانية يجب استخدام وسيلة نقل الحركة بأسنان مائلة ذات دقة من الدرجة السادسة؛ وبالنسبة للسرعة $v < 15$ m/sec - وسيلة نقل الحركة بالتروس مستقيمة الاسنان من الدرجة السادسة للدقة ، أو بالتروس ذات الاسنان المائلة من الدرجة السابعة للدقة، وللسرعة $v < 10$ m/sec فوسيلة نقل الحركة بالتروس مستقيمة الاسنان من الدرجة السابعة للدقة أو بالتروس ذات الاسنان المائلة من الدرجة الثامنة للدقة .

ودرجة الدقة تعتمد على طريقة التصنيع: اذ تفتح أسنان العجلات عن الدرجتين السادسة والسابعة بطريقة الدلفنة على ماكينات التشغيل الدقيقة ثم بعدها تعرض للتجليخ أو للحلق (shaving) وبالنسبة لدرجتى الدقة الثامنة والتاسعة فتفتح التروس بالدلفنة أو بطريقة التقسيم بدون ما يتبع ذلك من تجليخ ؛ ولأسنان العجلات من الدرجة العاشرة للدقة والأقل من ذلك فى دقتها فيمكن تشغيلها بأية طريقة.

وتحدد أربع درجات للدقة بالنسبة لوسائل نقل الحركة من طراز نوفيكوف.

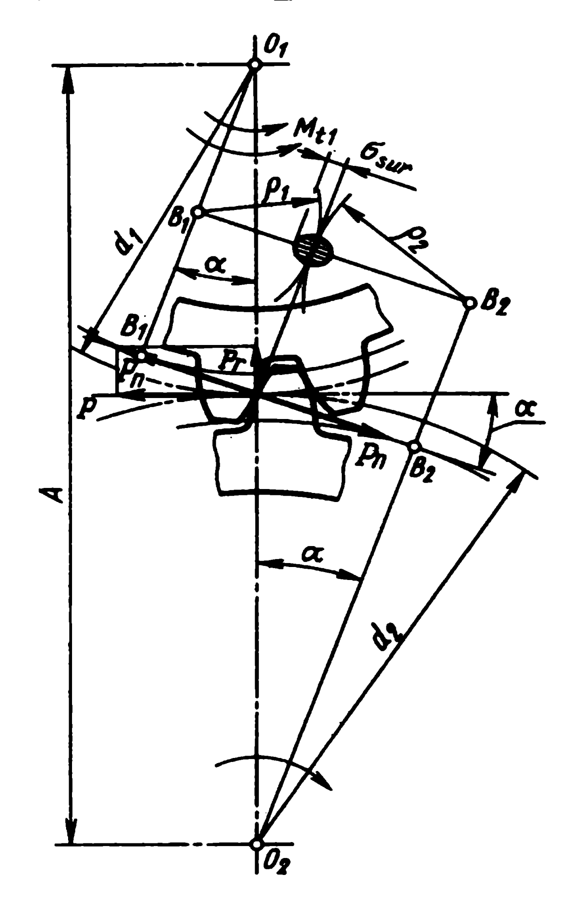
حساب وسائل نقل الحركة بالتروس الاسطوانية الانفوليوتية مستقيمة الاسنان

معايير الحساب . يجب عند حساب وسيلة نقل الحركة تعيين أبعادها الدنيا التى لا تظهر معها خطورة حدوث أعطاب فى العجلات المسننة . وأفضل حل لهذه المسألة يصبح ممكنا فقط بواسطة الحساب المترابط للمتانة وللشكل الهندسى للتعشيق ، حيث أنه مع تغير الشكل الهندسى للتعشيق (عدد الاسنان ، ومعاملات التصحيح ، وزاوية ميل الاسنان وما الى ذلك) ، تزيد كثيرا مقدرة وسيلة نقل الحركة على الحمل .

ومن تحليل أعطاب وسيلة نقل الحركة، نجد أنه يجب حساب وسائل نقل الحركة المغلقة على تلافى كل أنواع الاعطاب التى ذكرت، أما وسائل نقل الحركة المكشوفة، فتحسب على تلافى كسر وتآكل الاسنان وتشوهها اللدن. وتحدد متانة الاسطح العاملة للاسنان باجهادات التماس ، أما مقاومتها للكسر، فبواسطة الاجهاد فى منطقة الخطر من منحنى السنة الانتقالى. لذلك فان العلاقات الحسابية قائمة على المقارنة بين اجهادات التماس الحسابية وبين اجهادات التماس المسموح بها والتى تعتمد على ظروف تماس الاسنان فى مواضع الاعطاب المحتملة، والاجهادات عند قواعد الاسنان تقارن بالاجهادات المسموح بها فى حالة الثنى .

وفى المعتاد عندما تكون صلادة أسطح التشغيل HB أقل من ٣٥٠، تحدد أبعاد وسائل نقل الحركة المغطاة ـ المسافة بين المحورين، وعرض العجلتين، تحدد بحساب اطاقة التماس لأسطح تشغيل الاسنان. وحساب الاسنان على الثنى فى هذه الحالة يحمل طابع المراجعة وله هدف تحديد أقل مديول مسموح به.

أما عندما تكون صلادة أسطح التشغيل اكبر أو تساوى HB 350، فيمكن أن يحدث أن مقدرة وسيلة نقل الحركة على الحمل تتقيد ليس باطاقة التماس للاسطح العاملة (نتيجة للاجهادات العالية المسموح بها $[\sigma]_{sur}$)، ولكن بمتانة الاسنان بالنسبة للكسر. وفى هذه الحالة فان أبعاد وسيلة نقل الحركة المحددة من حساب على الكسر سوف تكون اكبر من تلك الناتجة من حساب اطاقة التلامس، ويمكن تقليلها باستعمال العجلات المسننة المصححة.



الشكل ١٥ - ١٧

وتحطم أسطح الاسنان وكسرها يمكن أن يحدث أيضا عند تأثير الحمل لفترة قليلة جدا اذا كان مقداره كبير للغاية. ومثل هذا الحمل الذى لا يبدى تأثيرا على اطاقة الاسنان يمكن أن يؤدى الى وقوع تشوهات لدنة عندما تكون صلادة السطح $HB \leqslant 350$، أو الى تحطم قصيف عندما تكون $HB > 350$. وفى هذه الحالة يجرى حساب الاسنان للترس القائد والعجلة المنقادة كل على حدة.

وكما سبق وأن ذكرنا سالفا (ص ٢٦٠) فان التفتت لا يلاحظ فى وسائل نقل الحركة المكشوفة. ولذلك فان حساب تقييد اجهادات التماس لهذه الوسائل، يستهدف تلافى ظهور التشوهات اللدنة أو التحطم القصيف لاسطح الاسنان: اذ تحدد أبعاد الوسائل المكشوفة لنقل الحركة بحساب الاسنان على الثنى.

<u>القوة المؤثرة فى التعشيق</u>. نفرض أن عزم لى M_{t1} بالكجم سم يؤثر على ترس قائد قطره d_1 بالسم. والضغط الكلى على السنة P_n يؤثر فى مستوى التعشيق عموديا على سطح الاسنان (تهمل قوى الاحتكاك فى التعشيق بسبب ضآلة تأثيرها على مقدار واتجاه الجهود). ونحلل الجهد العمودى الى مركبتين (الشكل ١٥ - ١٧): مركبة محيطية متجه فى اتجاه معاكس لاتجاه دوران الترس القائد:

$$P = \frac{2M_{t1}}{d_1} \text{ kgf} \qquad (15.8)$$

ومركبة قطرية، متجهة من نقطة التماس الى مركز العجلة (أما للعجلة ذات الاسنان الداخلية فمن المركز الى نقطة التماس):

$$P_z = P \tan \alpha \qquad (15.9)$$

والجهد العمودى على السنة (الشكل ١٥ - ١٧)

$$P_n = \frac{2M_{t1}}{d_1 \cos \alpha}$$

ومن منهج نظرية الماكينات معلوم أن $d_1 = d_{p1} \frac{\cos \alpha_p}{\cos \alpha}$ لذلك:

$$P_n = \frac{2M_{t1}}{dp_1 \cos \alpha_p} \qquad (15.10)$$

ويستخدم هذا الجهد عند حساب متانة الاسنان.

الحمل الحسابى. حيث أن أسنان العجلات المسننة فى وسيلة نقل الحركة تتعرض فى الاطوار المختلفة للتعشيق لتأثير حمل يتغير فى قيمته (انظر ص ٢٥٢)، فانه عند حساب الاسنان يلزم استخدام الحمل الذى يحدث اكبر الاجهادات خطورة. كما يلزم عند اجراء الحساب على متانة التماس، اختيار الحمل الذى يؤثر فى المنطقة حيث يظهر التفتت بالقرب من الخط القطبى. وعند اجراء حساب تلافى العض أو التآكل بالاحتكاك يلزم اختيار الحمل الذى يؤثر عند قمة وجذر الاسنان. وعند اجراء حساب الاسنان على الكسر يلزم اعتبار الحمل الذى بتأثيره على الذراع المناسب يحدث اكبر اجهاد ثنى فى المقطع الخطر من السنة: اما الحمل P_{n1} الذى يؤثر بذراع اكبر، أو الحمل الكبير P_n الذى يؤثر بذراع أقل (انظر الشكل ١٥ - ٦).

وبسبب عدم الدقة الحتمى فى تصنيع وسيلة نقل الحركة بالتروس ذات الاسنان المستقيمة، يكون من الممكن عمل زوجين من الاسنان فى آن واحد فقط اذا كان مجموع تشوهات زوج الاسنان تحت تأثير الحمل اكبر من الفرق بين الخطوتين الاساسيتين للعجلة والترس القائد، وهو ما يحدث فى وسائل نقل الحركة ذات الدقة العالية (من الدرجة الاولى حتى السابعة) أما بالنسبة لوسائل نقل الحركة ذات الدقة من الدرجات الثامنة - الثانية عشرة، فنتيجة للخطأ فى الخطوة الاساسية، يحدث فى لحظة تعشيق السنة بقمتها، وكذلك عند التماس فى منطقة القطب أن يؤثر على المنطقة الحمل P_n . لذلك يعتبر أن كل الحمل P_n يتوزع على طول خط تماس واحد طوله يساوى عرض العجلة المسننة b .

وهكذا ففى ظروف التوزيع المنتظم، يكون الحمل العمودى على كل وحدة الطول من خط التماس (الحمل النوعى)

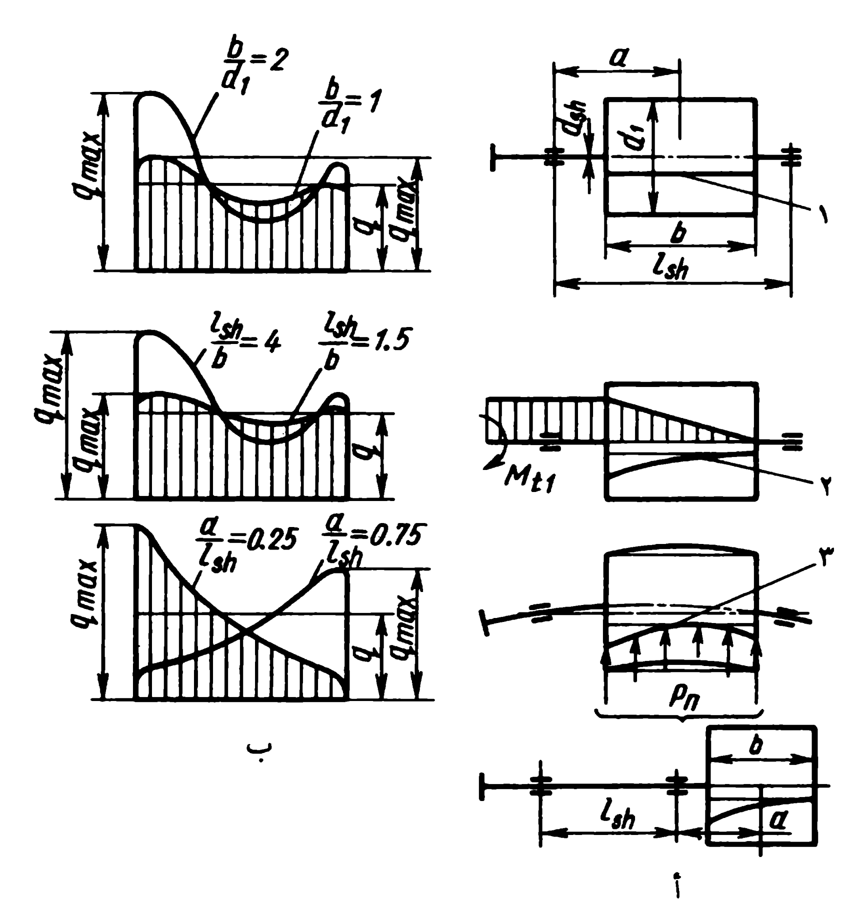
$$q = \frac{P_n}{l} = \frac{P_n}{b} = \frac{2M_{t1}}{d_{p1}\, b \cos \alpha_p} \ \text{kgf/cm} \qquad (15.11)$$

الا ان الحمل النوعى الفعلى يختلف فى بعض القطاعات عن القيمة الاسمية بسبب عدم انتظام توزيع الحمل على طول خطوط التماس ونتيجة للاحمال الديناميكية الاضافية الناتجة عند دخول الاسنان فى التعشيق. ان زيادة الحمل فى بعض القطاعات من خطوط التماس بالمقارنة بقيمة q تؤخذ فى الاعتبار بواسطة معامل تركيز الحمل k_c ، ومعامل تركيز الحمل الديناميكى k_d .

واذا أثر على وسيلة نقل الحركة حمل يتغير مع الزمن فان الحساب يلزم اجراؤه بواسطة الحمل المكافئ . وكما سبق أن وضحنا فى الفصل الثانى (ص ٣٤) ، فان العلاقة بين الحمل المكافئ وبين الحمل الاسمى تتم بواسطة معامل نظام التحميل k_{con}. وعلى ذلك فان الحمل النوعى الحسابى q_{des} يمكن تصوره على هيئة

$$q_{des} = q k_{con} k_c k_d \qquad (15.12)$$

وحيث أنه يوجد رابطة محددة بين الحمل وما ينتج عنه من اجهاد، فكثيرا ما يؤخذ فى الاعتبار معامل نظام التشغيل k_{con} عند تحديد الاجهادات المسموح بها، وعند تحديد q_{des} يؤخذ فى الانتباه المعاملان k_c و k_d فقط.



الشكل ١٥ - ١٨

معامل تركيز الحمل . يوضح الشكل ١٥ - ١٨، أ ترس قائد فى وسيلة نقل حركة بدرجة واحدة. وعند التصنيع الدقيق والتركيب الدقيق لوسيلة

نقل الحركة ستكون الاسنان (١) فى حالة اللاحمال موازية لمحورى وسيلة نقل الحركة وتتماس بكل عرض العجلتين b .

وأثناء العمل - تحت تأثير عزم اللى M_{t1} - يتعرض الترس القائد لتشويه اللى ، اما السنتان (٢) فتتغيران من موضعهما الابتدائى . وتحت تأثير الحمل الناتج عن رد فعل أسنان العجلة على أسنان الترس القائد ينثنى عمود الترس القائد . ونتيجة للى الترس القائد وانحناء العمود تنحنى رواسم الاسنان (٣) التى كانت فى البداية خطوطا مستقيمة. ويحدث نفس الشىء فى العجلة المنقادة ولكن بدرجة أقل بسبب جساءتها الاعلى .

ولو كانت الاسنان جاسئة تماما ، لجرى تماس الاسنان ونقل الحمل كله من خلال نقطة واحدة فقط P_n . أما فى الواقع، فنتيجة لتشوه الاسنان ، يتوزع التماس على طول خط التماس أو جزء منه ، علما بأن الحمل على طول خط التماس يتوزع بغير انتظام : وكلما زادت جساءة الاسنان يزيد معها عدم انتظام توزيع الحمل ، والعكس صحيح أيضا .

وتسمى الزيادة الموضعية فى الحمل النوعى والناتجة عن عدم انتظام التوزيع على طول خطوط التماس ، بتركيز الحمل ، أما النسبة بين الحمل النوعى الاقصى q_{max} (الشكل ١٥-١٨ ، ب) وبين القيمة q فتسمى بمعامل تركيز الحمل .

$$k_c = \frac{q_{max}}{q} \tag{15.13}$$

وتعتمد القيمة q_{max} على العرض النسبى للترس القائد $\psi_{pin} = \frac{b}{d_1}$ ؛ والطول l_{sh} والقطر d_{sh} لعمودى وسلية نقل الحركة ؛ وموضع العجلتين المسننتين على عموديهما بالنسبة لكراسى المحاور ؛ الجساءة الكلية لأسنان العجلتين ، ومادة وصلادة الاسنان ، ونظام تشغيل وسيلة نقل الحركة . .الخ

والشكل ١٥ - ١٨ ، ب يوضح منحنيات توزيع الحمل فى التعشيق بين أسنان مستقيمة ، فى حالة وضع الترس القائد بين كرسيى محور ، والمنحنيات تعطى فكرة عن تأثير بعض العوامل المشار اليها على المقدار q_{max} .

ويفرق بين عدم الانتظام الابتدائى فى توزيع الحمل ، وبين عدم الانتظام الحسابى فيه. والسبب فى حدوث الاخير هو تأثير تآكل الاسنان على تقليل عدم الانتظام الابتدائى : فكلما قلت صلادة الاسطح العاملة للاسنان وكلما كانت ظروف التزييت أردأ ، زادت شدة تآكل الاسنان حيث يكون من نتيجته أن يتوزع الحمل مع الزمن توزيعا اكثر انتظام.

والقيمة الدقيقة للمعامل k_c يصعب تحديدها . وعلى أساس الحمل النظرى والابحاث العملية التى أجريت على وسيلة نقل للحركة بدقة من الدرجة الثامنة وذات العجلتين الموضوعتين بين كرسيى المحور، يحسب k_c بالتقريب :

$$k_c = 1 + \left[0.16\left(\frac{b}{d_1}\right)^2 \frac{1}{k_E} + 0.016\left(\frac{b}{d_1}\right)^4 \left(1.5\frac{l_{sh}}{b} - 0.5\right) \times \right.$$
$$\left. \times \left(1 + 5.3\frac{d_1^2}{b^2}\sin 2\pi\frac{a}{l_{sh}}\right)\right] k_{run} k_E k_{kc} \qquad (15.14)$$

حيث k_{run} - معامل يأخذ فى الاعتبار تآكل الاسنان ويؤخذ مساويا ٨ر٠ للعجلات المصنوعة من الصلب ذات الصلادة $HB > 350$ و ٦ر٠ للعجلات المصنوعة من الصلب ذات الصلادة $HB \leqslant 350$ ، وللحديد الزهر ٥ر٠ ؛

k_E - معامل يأخذ فى الاعتبار مادة العجلتين : للعجلات المصنوعة من الصلب $k_E = 1$ وللعجلات من الصلب ـ الحديد الزهر $k_E = 0.9$ وللعجلات من الحديد الزهر ـ الحديد الزهر $k_F = 0.75$ ؛

k_{kc} - معامل يأخذ فى الاعتبار نوع الحساب ؛ ويساوى واحد صحيح لتلافى التفتت ؛ ٩ر٠ لتلافى الكسر ؛ ٢٥ر١ لتلافى العض .

واذا كان الترس القائد مثبتا على عتبة كابولى ، فان ما بين القوسين الكبيرين فى الصيغة (15.14) يجب ضربه فى ٦ .

وبالنسبة لوسائل نقل الحركة الاكثر دقة (من الدرجتين السادسة والسابعة) ، يمكن تقليل القيمة $k_c > 1.05$ ، اما بالنسبة لوسائل نقل الحركة الاقل دقة (من الدرجتين التاسعة والعاشرة) فيجب زيادة المعامل k_c بنسبة ٥ ٪ - ١٠ ٪ .

وعند تأثير الحمل الثابت يجب تقليل المعامل k_{run} الى النصف. وبالنسبة لوسيلة نقل الحركة ذات العجلات البلاستيك، فبسبب صغر معامل مرونة البلاستيك يوصى بأخذ $k_c = 1$.

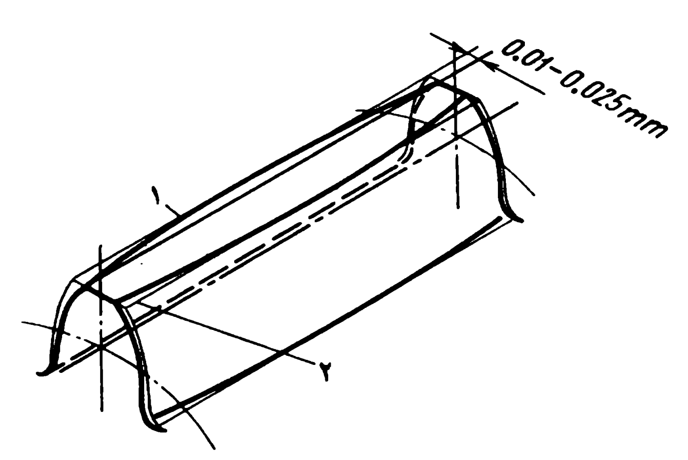
وعند تصميم وسائل نقل الحركة ، فان تكوين وسيلة نقل الحركة واختيار ابعاد أجزائها ، يجب أن يتمان بحيث أن يكون تركيز الحمل أقل ما يمكن . وفى العادة تكون النسبة $\frac{b}{d_1} \leqslant 1.3 \div 1.5$ بالنسبة للعجلات المسننة المركبة بين كرسيى المحور، $\frac{b}{d_1} < 0.8$ بالنسبة للعجلات المسننة المركبة على كابولى ويفضل وضع كراسى محاور الاعمدة بالقرب من العجلات، وأخذ $l_{sh} \leqslant 2b$ ؛ وفى حالة الوضع المتماثل للعجلات على الاعمدة، يلزم أن تكون الاخيرة اكثر جساءة ؛ ويجب تركيب التروس والعجلات الطرفية (على كابولى) بأقرب ما يمكن من كرسى المحور.

ولحساب المعامل k_c ، يجب أولا اختيار الرسم التخطيطى لوضع الترس على العمود بالنسبة لكراسى المحاور أى يجب اختيار النسب الممكنة $\frac{a}{l_{sh}}$ و $\frac{l_{sh}}{b}$ و $\frac{b}{d_1}$. واذا نتج أن $k_c > 1.60$ ، يلزم تغيير الرسم التخطيطى للعمود القائد واختيار قيم اخرى لعرض الترس وطول العمود والمسافة حتى كرسى المحور.

وتركيز الحمل بالنسبة لعرض العجلات يمكن تقليله بواسطة

استخدام أسنان برميلية (الشكل ١٥ - ١٩) . وسمك الاخيرة (١)عند الاطراف أقل من سمك الاسنان الانفوليوتية العادية (٢) ، وبفضل ذلك فان الاسنان تتلامس قبل تطبيق الحمل فى الجزء الاوسط من عرض العجلتين فقط . وتحت تأثير الحمل ينتشر التلامس بكل عرض العجلتين مع أقل قدر من عدم انتظام توزيع الحمل .

معامل الحمل الديناميكي . ان سبب الخطأ فى تعشيق الاسنان سواء من حيث شكل التعشيق أو الخطوة، هو عدم دقة التصنيع وتشوه الاسنان ، وتؤدى الى العمل غير المنتظم لوسيلة نقل الحركة بالتروس. وعلى الرغم من أن نسبة نقل السرعة i خلال الدورة الكاملة - هى قيمة ثابتة، الا أن القيم اللحظية لها تتغير باستمرار. ونتيجة لذلك فانه حتى مع السرعة الثابتة للعجلة القائدة، تدور العجلة المنقادة بلا انتظام. ان ما يظهر أثناء ذلك من عجلات زاوية تؤدى الى أن الاسنان تدخل التعشيق مصحوبة بالصدمات. ويجلب هذا أحمالا ديناميكية اضافية على الاسنان P_d . وظهور الاحمال



الشكل ١٥ - ١٩

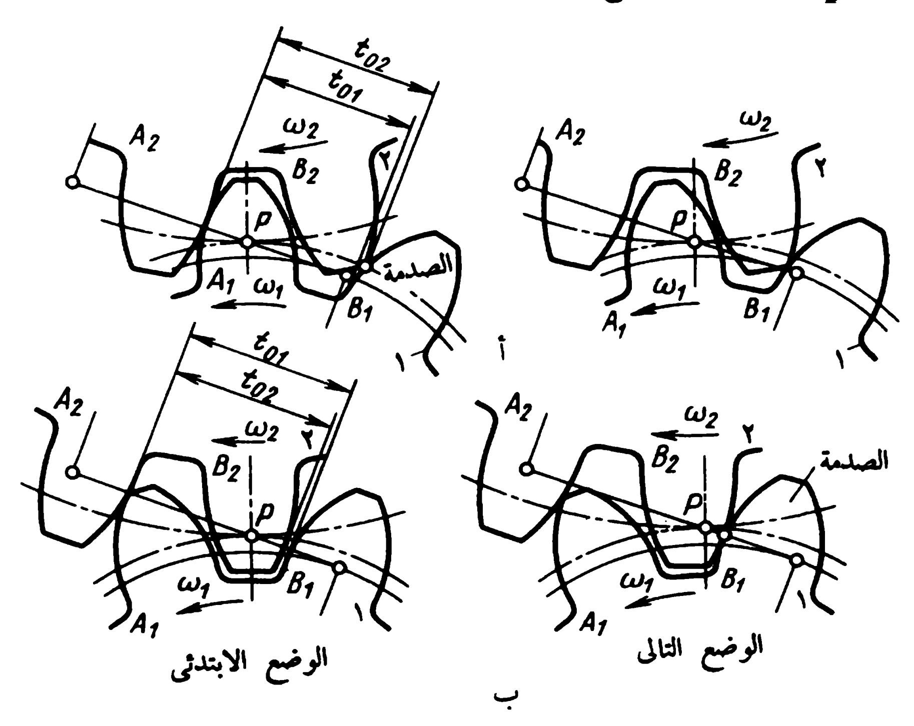
الديناميكية فى التعشيق يؤدى الى الضجيج والذبذبة فى وسيلة نقل الحركة، كما تنخفض مقدرة وسيلة نقل الحركة على نقل الاحمال النافعة.

وتقسم الصدمات الى نوعين فى التعشيق بالاسنان : صدمات طرفية وصدمات وسطية. وتظهر الاولى فى لحظة دخول طرف رأس السنة B_2 من العجلة المنقادة الى التماس مع جذر سنة العجلة القائدة B_1 قبل الاوان (الشكل ١٥ - ٢٠ ،أ) . ويحدث فى أثناء ذلك التماس ليس على خط التعشيق، وبناء على ذلك تختل صحة السرعات الزاوية - سرعة العجلة (٢) تزيد ، وينجم حمل ديناميكى اضافى يزيد من عجلة تحركها .

وفى لحظة انتهاء تعشيق أحد أزواج الاسنان عندما تكون $t_{01} > t_{02}$ ، تحدث صدمة من نوع آخر - وسطية (الشكل ١٥ - ٢٠ ، ب) . فبسبب وجود الخلوص $\Delta = t_{01} - t_{02}$ تجر العجلة المنقادة الى الدوران بواسطة السنة A_1 من أسنان الترس القائد نتيجة لتماسها مع السنة A_2 خارج خط التعشيق . وسرعة العجلة (٢) تقل الى أن يصبح الخلوص Δ مساويا للصفر والى أن تدخل السنتان B_1 ، B_2 التماس. وفى لحظة دخول الاسنان التعشيق تحدث الصدمة نتيجة لاختلاف السرعات ($v_1 > v_2$) .

وتكون الاحمال الديناميكية اكبر كلما كانت دقة تصنيع العجلات

أقل ، وكلما كانت اكبر سرعة وكتلة الاجسام المرتبطة بأعمدة وسيلة نقل الحركة. وكلما كانت السرعة المحيطية للعجلات المسننة اكبر ، كان على وسيلة نقل الحركة أن تصنع بدقة أعلى (انظر ص ٢٧١).



الشكل ١٥ - ٢٠

والنسبة بين الحمل الكامل ($P_n + P_d$) الى الحمل P_n تسمى بمعامل الحمل الديناميكى

$$k_d = 1 + \frac{P_d}{P_n} \qquad (15.15)$$

الجدول ١٥ - ٢

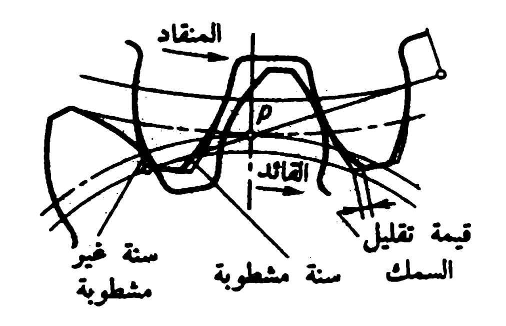
معامل الحمل الديناميكى k_d للعجلات ذات الاسنان المستقيمة

درجة الدقة	صلادة أسطح أسنان العجلات HB	المعامل k_d للسرعات المحيطية ، متر/الثانية: < ١	١ - ٣	٣ - ٨	٨ - ١٢
٦	≤ 350	-	-	١ر٢٠	١ر٣٠
	> 350			١ر٢٠	١ر٣٠
٧	≤ 350		١ر٢٥	١ر٤٥	١ر٥٥
	> 350	-	١ر٢٠	١ر٣٠	١ر٤٠
٨	≤ 350	١	١ر٣٥	١ر٥٥	-
	> 350	١	١ر٣٠	١ر٤٠	
٩	≤ 350	١ر١٠	١ر٤٥	-	-
	> 350	١ر١٠	١ر٤٠		

ويمكن اختيار قيمة k_d من الجدول ١٥ - ٢ الوارد فيه قيم المعامل k_d تبعا لصلادة أسطح الاسنان بسبب أنه مع زيادة متانة الاسنان يمكن زيادة الحمل P_n ، وبناء عليه يصبح المعامل k_d أقل . وتتضمن المراجع حسابا مدققا للحمل الديناميكي .

وفى أثناء الحساب التصميمي لوسيلة نقل الحركة يجب اختيار المعامل k_d تبعا للسرعة المحيطية المنتظرة. وبعد تعيين أبعاد وسيلة نقل الحركة، ومنها السرعة المحيطية أيضا ، يجب مراجعة قيمة k_d ثم تصحيح أبعاد وسيلة نقل الحركة فى الاتجاه المناسب.

وبهدف تقليل قوة الصدمة تستخدم الاسنان المشطوبة (المشطوفة) ، وعملية شطب الاسنان هى تقليل سمكها عند القمة (الشكل ١٥ - ٢١) بمقدار يعوض التغير فى الخطوة الاساسية الناتج عن تشوه الاسنان تحت تأثير الحمل ، وبفضل ذلك تدخل الاسنان فى التعشيق بنعومة اكبر. وبالنسبة لوسائل نقل الحركة بالتروس ذات الاسنان المستقيمة المشطوبة، يمكن اختيار قيم المعاملات التقريبية للاحمال الديناميكية - من الجدول ١٥ - ٩ .



الشكل ١٥ - ٢١

حساب الاسنان على متانة التلامس.

يقوم حساب متانة أسطح الاسنان المتلامسة على أساس تقييد اجهاد التلامس الاقصى فى حالة الضغط ($\sigma_{sur} \leqslant [\sigma]_{sur}$) ولتحديد الاجهاد σ_{sur} تستخدم الصيغة (2.30) على الرغم من أن شكل الاسنان لا يتفق والمبادئ الاساسية المتفق عليها عند استنتاج هذه الصيغة ، أما متانة الاسطح العاملة فى الاسنان فتعتمد لا على نصف قطر التقوس المكافئ، ومعامل مرونة المادة، بل أيضا على نوعية سطح الاسنان ومعالجتها الحرارية والتزييت . . . الخ . ان عدم اتفاق المهدات النظرية للصيغة الابتدائية مع الظروف الفعلية لتحميل اسطح الاسنان يعوض عنه عند تعيين اجهادات التلامس المسموح بها فى حالة الضغط، التى تحدد بالتجارب ؛ علما بأن نتائج التجارب تعالج أيضا بالصيغة (2.30) .

ونعبر عن المقادير الداخلة فى الصيغة الاولية ببارامترات نقل الحركة بالعجلات المسننة. وبما ان التصالب ينشأ فى منطقة الخط القطبى (للدائرة الاولية) ، يجب فى الصيغة (2.30) وضع قيم الضغط النوعى الحسابى q_{des} ونصف القطر المكافئ ρ لعزم التعشيق فى القطب .

من الشكل ١٥ - ١٧ نجد أن

$$\rho_1 = \frac{d_1}{2} \sin\alpha \ , \quad \rho_2 = \frac{d_2}{2} \sin\alpha \qquad (15.16)$$

وباعتبار أن $d_{p2} = d_{p1}{\cdot}d_1 = d_{p1} \dfrac{\cos\alpha_p}{\cos\alpha}$ نجد أن

$$\rho = \frac{\rho_1 \rho_2}{\rho_2 \pm \rho_1} = \frac{d_{p1}}{2} \frac{i}{i \pm 1} \cos \alpha_p \tan \alpha^* \tag{15.17}$$

وبالتعويض فى المعادلة (2.30) عن قيمة الحمل النوعى الحسابى من الصيغة (15.12) ،وعن قيمة نصف قطر التقوس المكافئ من المعادلة (15.17) ، نحصل على اجهاد التلامس فى حالة الضغط فى القطب بعد التعويض عن q بقيمتها من الصيغة (15.11) :

$$\sigma_{sur} = 0.418 \sqrt{\frac{q k_c k_d E \times 2(i \pm 1)}{d_{p1} \cos \alpha_p \tan \alpha \, i}} =$$

$$= 0.836 \sqrt{\frac{M_{t_1} k_c k_d E}{d_{p1}^2 \, b \cos^2 \alpha_p \tan \alpha} \frac{(i \pm 1)}{i}} \leqslant [\sigma]_{sur} \tag{15.18}$$

ويمكن فى الصيغة (15.18) الفصل بين عاملين مستقلين يؤثران على قيمة اجهادات التلامس : $k_{mat} = 0.836 \sqrt{E}$ وهو معامل يأخذ فى الاعتبار تأثير المادة، و $k_\alpha = \sqrt{\frac{1}{\cos^2 \alpha_p \tan \alpha}}$ وهو معامل يأخذ فى الاعتبار تأثير هندسة شكل وسيلة نقل الحركة. وهكذا فان

$$\sigma_{sur} = k_{mat} k_\alpha \sqrt{\frac{M_{t_1} k_c k_d (i \pm 1)}{d_{p1}^2 \, bi}} \leqslant [\sigma]_{sur} \tag{15.19}$$

وللحساب التصميمى يمكن اختصار الصيغة (15.19) . ومنها يكون قطر دائرة التقسيم (الخطوة pitch circle) للترس القائد عندما تكون $b = \psi_p d_{p1}$

$$d_{p1} = \sqrt[3]{\left(\frac{k_{mat} k_\alpha}{[\sigma]_{sur}}\right)^2 \frac{M_{t_1} k_c k_d}{\psi_p} \frac{i \pm 1}{i}} \tag{15.20}$$

وعند وجود شرط $b = \psi A$ و $d_{p1} = \frac{2A}{i+1} \frac{\cos \alpha}{\cos \alpha_p}$ تكون المسافة بين المحورين

$$A = (i \pm 1) \sqrt[3]{\left(\frac{k_{mat} k'_\alpha}{[\sigma]_{sur}}\right)^2 \frac{M_{t_1} k_c k_d}{\psi i}} \tag{15.21}$$

حيث $k'_\alpha = \sqrt{\frac{1}{2 \sin 2\alpha}}$

والمعامل k_{mat} يساوى ١٢٢٥ بالنسبة لزوج من التروس المصنوعة من الصلب، ويساوى ١٠٦٥ لزوج التروس من الحديد الزهر ـ الصلب والمعاملان k_α و k'_α هما بالنسبة لوسيلة نقل الحركة غير المصححة (أى α = ٢٠°) يساويان ٧ر١ و ٨٨ر٠ على التوالى . ومع زيادة زاوية التعشيق وباجراء التعديل الزاوى تقل قيمتا هذين المعاملين .

---

* الاشارة "+" للتعشيق الخارجى والاشارة "ـ" للتعشيق الداخلى .

فمثلا عندما تكون $\alpha = 26^\circ$ ، تكون k_α تساوى ٢٥ر١ وبناء عليه يقل قطر الترس القائد بنسبة ١١ ٪ ويزيد الحمل المنقول بنسبة ٢٢ ٪ ، عنهما فى وسيلة نقل الحركة غير المعدلة.

ويتراوح فى وسائل نقل الحركة المنفذة العرض النسبى للعجلة (أى النسبة بين عرض العجلة الى المسافة بين المحورين $\psi = \frac{b}{A}$) ، بين ١ر٠ الى ٢ر١ . وكلما زادت القدرة المنقولة، وكان جسم المخفض اكثر جساءة وكانت وسيلة نقل الحركة أدق يجب اخذ قيمة ψ اكبر فاكبر.

وفى صناديق السرعات ذات العجلات المسننة المتنقلة أو كتلة العجلات، وحيث من المهم تصغير الحجم والابعاد على طول المحاور يجب أخذ العرض النسبى فى حدود $\psi = 0.1 \div 0.2$ أما بالنسبة لوسائل نقل الحركة المغلقة ومتوسطة السرعات والقدرة تؤخذ $\psi = 0.4 \div 0.6$. وللعجلات المسننة المثبتة بين كراسى المحاور، عندما يكون الحمل ثابتا تكون $\psi_p \leqslant 1.6$ ، أما عندما يكون الحمل غير ثابت تكون $\psi_p \leqslant 1.3$ ، وبالنسبة للترس المركب على كابولى فان $0.7 < \psi_p < 0.8$.

<u>اجهادات التماس المسموح بها</u> . يتم الحصول على المعطيات الابتدائية لتحديد حدود اطاقة التلامس، بالطريق التجريبى : فمن الاحمال التى تسجلها التجارب تحسب اجهادات التلامس فى حالة الضغط على أسطح الاسنان ثم ترسم منحنيات الاطاقة (انظر ص ٤٣) والعلاقة بين حد اطاقة التماس وبين صلادة الاسطح تحدد من الصيغة (2.32) : $\sigma_{sur} = C_B HB$ ، $\sigma_{sur} = C_R HRC$,وقيم المعاملين C_B ، C_R واردة فى الجدول ١٥ - ٣ طبقا لنوع الماده ومعالجتهـا الحرارية.

وعندما تكون i اكبر من الوحدة، يوصى بأخذ صلابة اسطح أسنان الترس القائد أعلى بمقدار ٣٠ - ٥٠ وحدة برينيل من صلادة أسطح أسنان العجلة المنقادة، حيث أن أسنان الترس القائد تدخل فى التعشيق بعدد مرات اكبر من أسنان العجلة المنقادة. ورفع صلادة أسنان الترس القائد يساعد على مقاومة أسطح اسنان العجلة أيضا بغفل زيادة متانتها فى أثناء التشغيل .

ويعتمد الاجهاد المسموح به على عوامل مختلفة يؤخذ فى الاعتبار تأثير كل منها بواسطة معامل للتصحيح : k_{load} - معامل نظام التحميل (أنظر ص ٣٤) ، k_{sur} - معامل لكفاءة السطح ، k_{vis} - معامل للزوجة الزيت ؛ وقيم هذه المعاملات تحدد تجريبيا . وعلى أساس الصيغة (2.33) فان

$$[\sigma]_{sur} = \sigma_{sur} k_{load} k_{sur} k_{vis} \qquad (15.22)$$

ويمكن تحديد معامل نظام التحميل k_{load} عند تأثير حمل ثابت خلال N من الدورات ، من المعادلة (2.17) ، اذا اخذت m تساوى ٦ كقيمة متوسطة من التجارب مع عدد الدورات القاعدى N_0

المناظر (الجدول ١٥ - ٣) :

$$k_{load} = \sqrt[6]{\frac{N_0}{N}} \qquad (15.23)$$

الجدول ١٥ - ٣

قيم المعاملين C_B و C_R فى الصيغة (2.32)

مادة العجلات المسننة	المعالجة الحرارية	صلادة أسطح الاسنان	المعامل C_B أو C_R	العدد القاعدى للدورات $N_0 \times 10^{-6}$
صلب كربونى متوسط وصلب سبائك كربونى متوسط من أية ماركة	تخميد ، معادلة أو تحسين	$HB \leqslant 260$ $HB\ 260 - 350$	$C_B = 25$	١٠ ١٠ - ٢٥
صلب سبائك عالى المتانة من ماركات 12 XH3A 12 XH4A , 20 XH3A 18 XГT ، ما شابهها	تقسية اسمنتية	$HRC\ 55 - 63$	$C_R = 310$	٨٠ - ١٤٠
صلب سبائك من ماركات 20 XH 20 X 12 XH2 15X 20 XΦ 15 XM			$C_R = 280$	٨٠ - ١٤٠
صلب كربونى من ماركات 15 , 20 , 15 Г , 20 Г			$C_R = 220$	٨٠ - ١٤٠
صلب كربونى أو سبائك من ماركات , 35 X , 40 X , 40 XH , 40, 45	تقسية حجمية أو سطحية	$HRC\ 40 - 55$	$C_R = 240$	٣٠ - ٨٠
حديد زهر رمادى СЧ 24 – 44 , СЧ 32 – 52 , СЧ 28 – 48 , СЧ 35 – 56		$HB\ 170 - 270$	$C_B = 15$	
حديد زهر معدل (modified)		$HB\ 170 - 262$	$C_B = 18$	

عند تأثير أحمال مختلفة M_i خلال عدد T_i من الساعات لكل من هذه الاحمال، ومع عدد اللفات n_i ، يلزم التعويض فى الصيغة (15.23) من N بالعدد المكافىء من دورات التحميل (انظر ص ٣٤) ٠

$$N_{eq} = \frac{60a}{M_{t1}^3} \Sigma M_i^3 n_i T_i, \qquad (15.24)$$

حيث M_{t1} ـ العزم المؤثر أطول مدة معوضا عنه فى الصيغة(15.21)؛
a ـ عدد مرات تعشيق السنة خلال دورة واحدة للترس القائد .
وبالنسبة للعجلات المصنوعة من الحديد الزهر والمصنوعة من الصلب عندما تكون $\frac{N_0}{N_{eq}}$ أصغر أو تساوى الوحدة، تؤخذ قيمة المعامل k_{load} مساوية للوحدة. وبالنسبة للعجلات المصنوعة من التكستوليت يكون الاجهاد المسموح به مساويا ٤٣٠ - ٤٧٠ كجم/سم٢ ، وبالنسبة للعجلات المصنوعة من مادة اللجنوفول يكون الاجهاد = ٥٢٠ - ٦٣٥ كجم/سم٢ .
قيم المعاملات k_{sur} و k_{vis} الواردة فى المراجع [4] : فبالنسبة للاسنان ذات كفاءة السطوح $\nabla 5$ ، k_{sur} = ٠ر٩٥ ؛ أما بالنسبة للاسنان فى وسائل نقل الحركة ذات درجة الدقة السابعة والثامنة أى كفاءة السطوح من الدرجة السادسة والسابعة) k_{sur} تساوى الوحدة، بالنسبة للاسنان المشغلة تحت تأثير الحمل (من الدرجتين السابعة والثامنة من كفاءة السطح) تكون قيمة k_{sur} = ١ر١ ÷ ١٥ر١ ٠ وبالنسبة للزيوت ذات اللزوجة الكينماتيكية μ = ٥٠ ÷ ٣٠٠ سنتيستوك (عند درجة الحرارة التى تكون عليها عندما تصل الى منطقة التعشيق) $k_{vis} = 1$ ٠ وفى الحسابات التقريبية يمكن أخذ $k_{sur} = k_{vis} = 1$ ٠
وبغرض تلافى التشوهات اللدنة أو التحطمات القصيفة يلزم أن يكون اجهاد الضغط المعين من الصيغة (15.19) بعد التعويض عن قيمة $M_{t1\,max}$ ، لا يزيد عن أقصى اجهاد تماس مسموح به فى الضغط (فى حالة التحميل الاستاتيكى) ٠

$$\sigma_{sur.\,max} \leqslant [\sigma]_{sur.\,lim} \qquad (15.25)$$

وبالنسبة للعجلات المسننة المصنوعة من الصلب عندما تكون الصلادة HB أقل أو مساوية ٣٥٠ ، يمكن للتقريب أخذ $[\sigma]_{sur.\,lim} = 3.1\sigma$ ، أما فى حالة الصلادة HB اكبر من ٣٥٠ تؤخذ $[\sigma]_{sur.\,lim} = 420\ HRC$.
<u>حساب الاسنان لتلافى الكسر.</u> فلنحدد اكبر الاجهادات فى المقطع الخطر من السنة عرضها b = ١ سم (مديول m سم) ٠ تعطى التجارب العديدة الخاصة بأبحاث الاجهادات عند جذر السنة، الاساس فى اعتبار أن المقطع الخطر يمر عبر نقطة التماس بين شكل السنة والخطوط الموصلة بمحور السنة والمائلة عليه بزاوية ٣٠° (الشكل ١٥ - ٢٢) ٠ ولنحلل القوة q_{des} الى اتجاهين : عمود يا

وعلى محور السنة وفى اتجاهه والمركبة الاولى تثنى السنة، والثانية تضغطها . واجهاد الثنى :

$$\sigma'_{bend} = \frac{M}{W} = \frac{6 q_{des} l}{s^2}$$

واجهاد الضغط

$$\sigma_{con} = \frac{q_{con}}{F} = \frac{q_{des} \sin \delta}{s}$$

وسوف تكون الاجهادات فى جهة الشد (انظر ص ٢٨) هى الاجهادات الخطرة $\sigma_{bend} = \sigma'_{bend} - \sigma_{con}$ بناء عليه

$$\sigma_{bend} = \frac{6 q_{des} l}{s^2} - \frac{q_{des} \sin \delta}{s}$$

أو

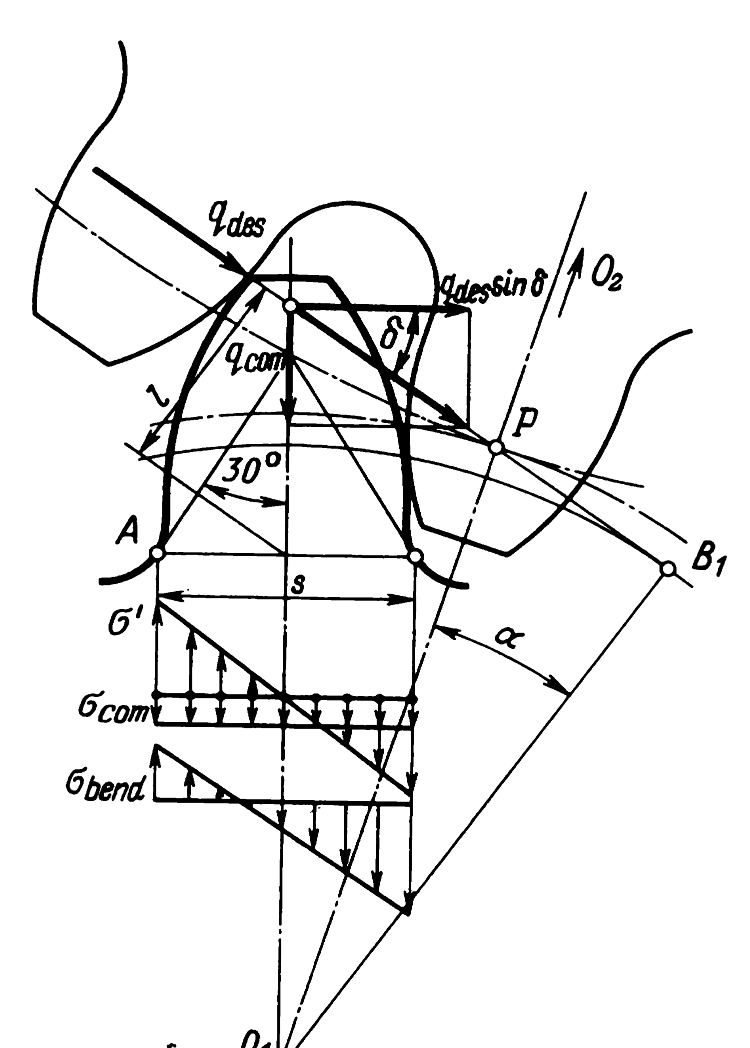
$$\sigma_{bend} = \frac{q_{des}}{m} \left(\frac{6 \frac{l}{m}}{\frac{s^2}{m^2}} - \frac{\sin \delta}{\frac{s}{m}} \right) \qquad (15.26)$$

واذا رمزنا الى القيمة داخل القوس بالرمز $\frac{1}{y}$ ، يمكن كتابة الصيغة (15.26) على الشكل التالى :

$$\sigma_{bend} = \frac{q_{des}}{my} \qquad (15.27)$$

حيث y - معامل شكل السنة، ويعتمد على شكلها .

وحيث أن l و s تتناسبان مع المديول ، فان المعامل y لا يعتمد على المديول . فالمحيط الخارجى للسنة يتغير بتغير عدد الاسنان وبتغير معامل التصحيح ، ولذلك فان مقدار معامل الشكل يرد فى الجداول أو فى الرسوم البيانية كدالة لعدد الاسنان z وللمعامل ξ (الشكل ١٥ - ٢٣) . وللعجلات المسننة ذات الاسنان الداخلية عندما تكون $z \geqslant 30$ ، يمكن تعيين معامل شكل السنة من الصيغة



الشكل ١٥ - ٢٢

$$\gamma = 0.5\left(1 + \frac{20}{z}\right) \quad (15.28)$$

وبالتعويض فى الصيغة (15.27) بقيمة الحمل النوعى الحسابى من الصيغة (15.12) تحصل على الاجهاد عند جذر الاسنان للترس القائد

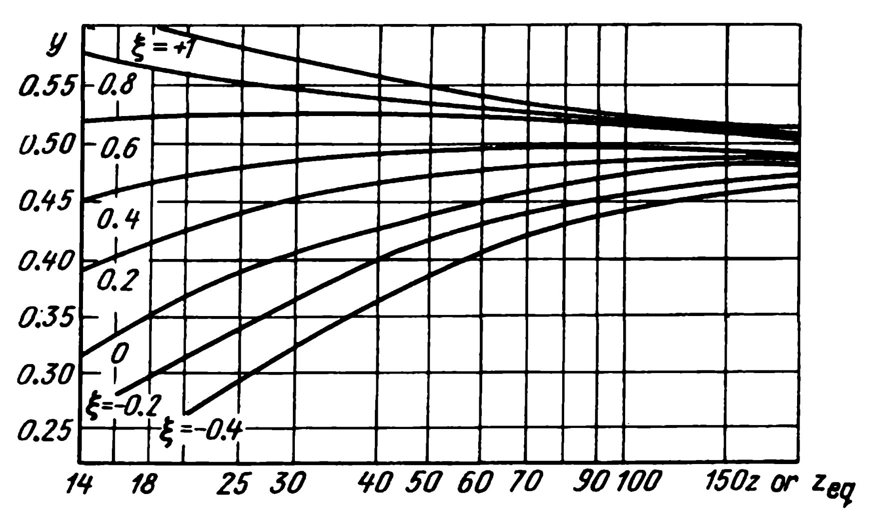
$$\sigma_{bend_1} = \frac{2M_{t1}\,k_c\,k_d}{d_{p1}\,bm\gamma_1\cos\alpha_p} \leqslant [\sigma]_{bend_1} \quad (15.29)$$

حيث $[\sigma]_{bend_1}$ ـ الاجهاد المسموح به فى الثنى عند جذر سنة الترس القائد .

وعند اجهادات الثنى الموجودة فى أسنان الترس القائد σ_{bend_1} ، تحدد اجهادات الثنى فى اسنان الترس المنقاد σ_{bend2} من الصيغة

$$\sigma_{bend2} = \sigma_{bend1}\,\frac{\gamma_1}{\gamma_2} \quad (15.30)$$

حيث أن اجهادات الثنى الاسمية تعتمد فقط على معامل شكل السنة.



الشكل ١٥ - ٢٣

ومن الصيغة (15.29) يمكن بسهولة الحصول على صيغة لتعيين موديول عجلات وسيلة نقل الحركة بالتروس. فاذا ما عوضنا عن d_{p1} بالقيمة $z_1 m$ ، ورمزنا $\frac{b}{m} = \Psi_m$ فانه عندما تكون $\cos\alpha_p = 0.94$ فان

$$m = 1.28\,\sqrt[3]{\frac{M_{t1}\,k_c\,k_d}{z_1\,\Psi_m\,\gamma_1\,[\sigma]_{bend1}}} \quad \text{cm} \quad (15.31)$$

وعند حساب وسائل نقل الحركة المفتوحة، فبهدف التعويض عن تأثير التآكل بالاحتكاك على تقليل سمك الاسنان (وبالتالى اضعافها) تزداد قيمة الموديول الناتجة من الصيغة (15.31) بنسبة ٨ - ١٥ ٪ .

وعند تحديد الموديول من الصيغة (15.31) ، يعطى عدد الاسنان والنسبة ψ_m . وبالنسبة لتروس وسائل نقل الحركة المفتوحة، بغرض الحصول على أقل أبعاد لوسيلة نقل الحركة يجب اعتبار العدد الاقل للاسنان . ومن شروط عدم احداث قطع تحتى (undercut) عندما تكون α_p = ٢٠° ، يكون أقل عدد من الاسنان z_1 = ١٧ . والنسبة ψ_m تؤخذ فى حدود من ٨ الى ١٥ .

أما فى وسائل نقل الحركة المغلقة يجب أخذ أعداد الاسنان اكبر بقدر الامكان . فمع زيادة عدد اسنان العجلات (مع ثبات أقطار العجلات المحسوبة من حساب متانة أسطح الاسنان) ، لا تقل كلفة تصنيع وسيلة نقل الحركة فحسب، ولكن أيضا بفضل تقليل كمية المعدن المقطوع يزيد ثبات عدة تفتيح الاسنان ، وتقل تشوهات العجلات، وتزيد دقة التعشيق . وعلاوة على ذلك تتحسن أيضا جودة استغلال وسيلة نقل الحركة : اذ تقل فواقد الاحتكاك (فهى تتناسب عكسيا مع عدد الاسنان)، ويزيد معامل التغطية.

وتختار قيمة y_1 حسب عدد الاسنان المختار. وموديول التعشيق الناتج من الصيغة (15.31) يقرب الى أقرب قيمة قياسية.

<u>اجهادات الانحناء المسموح بها</u>. تعتمد الاجهاد المسموح بها على المادة ومعاملتها الحرارية أو الحرارية الكيماوية، وعلى طابع تحميل السنة (من جهة واحدة أو من الجهتين) ، ونظام تشغيل وسيلة نقل الحركة ، وشكل منحنى الانتقال ، وكفاءة السطح فى هذا الموضع من السنة. وعند تحميل السنة من جهة واحدة (طابع نبضى لتغير الاجهادات) تكون الاجهادات المسموح بها مساوية

$$[\sigma]_{bend} = \frac{\sigma_0}{nk_\sigma} k_{load}$$

حيث σ_0 ـ حد الاطاقة للاسنان ؛

n ـ معامل الامان للمتانة ؛

k_σ ـ معامل تركيز الاجهادات عند جذر السنة ؛

k_{load} ـ معامل نظام التحميل .

ويمكن مع التقريب اعتبار أن $\sigma_0 \approx 1.4\sigma_{-1}$ وبناء عليه

$$[\sigma]_{bend} = \frac{1.4\sigma_{-1}}{nk_\sigma} k_{load} \quad (15.32)$$

وعند تحميل الاسنان من الجهتين يكون الاجهاد المسموح به

$$[\sigma]_{bend} = \frac{\sigma_{-1}}{nk_\sigma} k_{load} \quad (15.33)$$

ومعامل نظام التحميل مماثل لما سبق وأجريناه عند حساب اجهادات التماس المسموح بها ، ويمكن ان يحدد من الصيغة

$$k_{load} = \sqrt[9]{\frac{5 \times 10^6}{N}} \qquad (15.34)$$

اذا ما أخذنا m فى الصيغة (2.17) بالنسبة للمتانة الحجمية مساوية ل ٩ . وفى حالة النظام التدريجى للتحميل يجب عوضا عن N فى الصيغة (15.34) التعويض بالقيمة N_{eq} من الصيغة (15.24) مع استبدال الاس ٣ بالاس ٩ حيث أن اجهاد الثنى يتناسب مع عزم الانحناء .

$$N_{eq} = \frac{60a}{M_{t1}^9} \Sigma M_i^9 n_i T_i \qquad (15.35)$$

أما معامل تركيز الاجهادات عند جذر السنة فيعتمد على عدد الاسنان وبارامترات المحيط الاساسى ومعامل ازاحة العدة القاطعة ξ حيث أن هذه العوامل تؤثر على شكل منحنى الانتقال ، وكذلك يعتمد على مادة الاسنان وكفاءة سطح منحنى الانتقال . فبالنسبة للعجلات المصنوعة من الصلب المقسى اسمنتيا ، أو آزوتيا ، أو بالسيانيد وللعجلات المصنوعة من الحديد الزهر تكون $k_\sigma \approx 1.2$. ومع زيادة ازاحة العدة القاطعة يزيد تركيز الاجهادات (الجدول ١٥ - ٤).
ومعامل الامان n يعتمد على نوع المادة نصف المصنعة وما يلى من معالجات حرارية أو كيماوية حرارية (الجدول ١٥ - ٥).

الجدول ١٥ - ٤

قيم معاملات تركيز الاجهادات k_σ
بالنسبة للعجلات المسننة المصنوعة
من الصلب المعادل وغير المقسى

معامل التصحيح ξ	k_σ بالنسبة لعدد الاسنان				
	$\leqslant$ ٢٠	٣٠	٤٠	٦٠	$\geqslant$ ١٠٠
ξ = صفر	١ر٢٤	١ر٣٤	١ر٣٧	١ر٤١	١ر٤٥
ξ ≠ صفر		$k_{\sigma\xi} = k_\sigma + \xi \frac{1.54 - k_\sigma}{0.6}$			

ومن أجل تلافى الكسر الفجائى أو ظهور تشوهات لدنة فى الانحناء عند زيادة الحمل اكثر من اللازم، يجب مراجعة الشرط

$$\sigma_{bend\ max} \leqslant [\sigma]_{bend\ lim} \qquad (15.36)$$

الجدول ١٥ - ٥

قيم معاملات الامان n

المعدن ومعالجته الحرارية	معامل الامان n
المسبوكات من الصلب والحديد الزهر ؛ بدون معالجة حرارية	٢
نفس المسبوكات مع المعادلة والتحسين	١ر٨
مطروقات من الصلب ، مع التقسية الاسمنتية، والتقسية	٢ر٠
نفس المطروقات ، مع المعادلة والتحسين	١ر٦

وأقصى اجهاد انحناء $\sigma_{bend\ max}$ يعين من الصيغة (15.29) بالتعويض عن M_{t1} بالقيمة $M_{t1\ max}$. والاجهاد الحدى المسموح به عند تطبيق الحمل استاتيكيا بالنسبة للاسنان المصنوعة من مواد قصيفة (عندما تكون الصلادة فى قلب السنة HB اكبر من ٣٥٠ .

$$[\sigma]_{bend\ lim} = \frac{\sigma_u}{nk_\sigma} \tag{15.37}$$

ومعامل الامان n = ٢ر٥ ÷ ٣ .

ويفرض تلافى التشوهات اللدنة عند الانحناء فى الاسنان من الصلب بصلادة قلبها HB أقل من ٣٥٠، لا يجب أن يزيد الاجهاد الاقصى عن

$$[\sigma]_{bend\ lim} = \frac{\sigma_y}{n} \tag{15.38}$$

وفى هذه الحالة لا يؤخذ فى الاعتبار المعامل k_σ ، حيث أن تركيز الاجهادات لا يخفض من المتانة فى حالة التحميل الاستاتيكى للمواد اللدنة. ويكون معامل الامان n = ١ر٤ ÷ ٢ .

الحساب على تلافى العض. لا توجد حتى الآن معايير ثابتة توصف تأثير درجة العض فى الاسنان على مقدرتها على نقل الحمل. والحساب التقريبى قائم على مقارنة درجة الحرارة اللحظية فى التعشيق مع القيم المسموح بها والمحصل عليها من التجارب، حيث يفترض أنه عند حدوث ارتفاع معين موضعى فى درجة الحرارة، يبدأ تمزق طبقة الزيت ويظهر العض .

وفى أساس الحساب يكمن مفهوم أن درجة الحرارة فى موضع التماس تزيد مع زيادة الشغل المبذول من قوى الاحتكاك. والاخيرة تتناسب

طرديا مع الحمل النوعى ومع سرعة انزلاق الاسنان على طول المماس العام، وتتناسب عكسيا مع انصاف أقطار التقوس فى نقطة تماس الاسنان. وعلى أساس صيغة " بلوك " لتعيين درجة الحرارة اللحظية فى موضع التماس بين الاسطح الفولاذية، ومع الاخذ بالقيم المتوسطة للتوصيل الحرارى والسعة الحرارية، تم الحصول على صيغة للعجلات المسننة الفولاذية :

$$t_w = 1.84 f(\sqrt{v_1} - \sqrt{v_2}) \sqrt[4]{\frac{q_{des}^2}{\rho}} \leqslant [t_w] \qquad (15.39)$$

حيث f - معامل الاحتكاك ؛

v_1 ، v_2 - سرعتا انتقال نقطة تماس الاسنانّ فى النقطتين a ، d على خط التعشيق (انظر الشكل ١٥ - ٦) فى اتجاه المماس المشترك ؛

q_{des} - الحمل الحسابى النوعى، الذى يعين من الصيغة (15.12) عندما تكون $k_{load} = 1$ ؛

ρ - نصف قطر التقوس المكافئ فى النقطتين (a) و (d).

والجدول (١٥ - ٦) يتضمن القيم المسموح بها لدرجة الحرارة اللحظية $[t_w]$.

الجدول ١٥ - ٦

القيم المسموح بها لـ $[t_w]$

صلادة أسطح الاسنان العاملة	السرعة المحيطية متر/الثانية	$[t_w]$ °C	التشغيل بالتليين ونوعية التماس
$HB >$ ٣٥٠ (مع التحسين والمعادلة	٥ $\geqslant$ أعلى من ٥ الى ١٨ $<$ ١٨	٦٠ ٨٠ ١٢٠	بدون تليين. أما بالتليين الدقيق مع الزيادة التدريجية للحمل فيمكن زيادة قيم $[t_w]$ الواردة فى الجدول بـ٢٠°
$HRC >$ ٤٥ (تقسية)	-	٢٠٠	بدون تليين
$HRC >$ ٥٢	-	٢٥٠	الاسطح نظيفة. والتماس على كل السطح العامل

وفى بعض الاحيان تستخدم طريقة اخرى لحساب العض، وفيها يستخدم كمقياس اجهاد التماس الاقصى فى حالة الضغط $[\sigma]_{sz}$ ، المسموح فى ظروف عدم وجود العض $\sigma_{sur} \leqslant [\sigma]_{sz}$ والاجهاد σ_{sur} يحدد من

الصيغة (15.19) ، عندما تكون k_d = ١ ، من اكبر الاحمال قيمة وأقلها وقتا فى التأثير $M_{t1\ max}$. وقيم $[\sigma]_{sz}$ محددة لأنظمة معينة فى التحميل ، ومواد معينة للعجلات المسننة وظروف الاستغلال .

حساب الابعاد الهندسية الاساسية. عندما تكون المسافة A بين المحورين معروفة، وكذلك المود يول m (انظر حساب المتانة) ، يحدد قطرا العجلتين ، وأبعاد عناصر التعشيق ، وكذلك مواصفات التعشيق : معامل التغطية، والانزلاق النوعى وغيرهما . وتنفذ هذه الحسابات بالصيغ الواردة فى منهج نظرية الماكينات، وكذلك فى الارشادات الخاصة بالعجلات المسننة ووسائل نقل الحركة بها . والصيغ الاساسية واردة فى الجدول ١٥ - ٧ .

الجدول ١٥ - ٧

الصيغ اللازمة لتعيين الابعاد الاساسية لوسائل نقل الحركة بالتروس الاسطوانية ذات الاسنان المستقيمة والتعشيق الخارجي

عناصر التعشيق	الصيغة
قطر دائرة الخطوة (دائرة التقسيم)	$d_p = rm$ mm
قطر دائرة الاساس	$d_0 = d_p \cos \alpha_p$ mm
المسافة بين المحورين عندما $\xi_1 = \xi_2 =$ صفر و $\xi_1 - = \xi_2$	$A_p = \frac{z_2 + z_1}{2} m$ mm
المسافة بين المحورين عندما $0 \neq \xi_1 \pm \neq \xi_2$	$A = A_p(\lambda_o + 1)$ mm
معامل انحراف المحورين	$\lambda_0 = \frac{\cos \alpha_p}{\cos \alpha} - 1$ [وتختار حسب الجدول (١٥ - ٨) تبعا لـ ξ_0]
معامل التصحيح النسبى الكلى	$\xi_0 = \frac{2(\xi_2 + \xi_1)}{z_2 + z_1}$
معامل الانحراف فى المسافة بين المحورين	$a = \frac{A - A_p}{m}$
معامل الازاحة العكسية	$\nu = (\xi_2 + \xi_1) - a$
قطر الدائرة الخارجية	$D_e = d_p + 2(f_0 + \xi - \nu) m$ mm
قطر دائرة الجذر	$D_i = d_p - 2(f_0 + c_0 - \xi) m$ mm

وتحسب المسافة بين محورى وسيلة نقل الحركة المعدلة،بمساعدة معامل انحراف المحورين λ_0 ،الذى يعين من معامل التصحيح الكلى النسبى ξ_0 (الجدول ١٥ - ٨) .

الجدول ١٥ - ٨

قيم معامل انحراف المحاور λ_0 والمعامل الكلى للتصحيح النسبى ξ_0
تبعا لزاوية التعشيق α

الدقائق	α = ٢٠°		α = ٢١°		α = ٢٢°		α = ٢٣°		α = ٢٤°	
	λ_0	ξ_0	λ_0	ξ_0	λ_0	ξ_0	λ_0	ξ_0	λ_0	ξ_0
صفر	٠ر٠٠٠٠٠	٠ر٠٠٠٠٠	٠ر٠٠٦٥٥	٠ر٠٠٦٧١	٠ر٠١٣٤٩	٠ر٠١٤١٥	٠ر٠٢٠٨٥	٠ر٠٢٢٣٨	٠ر٠٢٨٦٢	٠ر٠٣١٤٥
١٠	٠ر٠٠١٠٦	٠ر٠٠١٠٧	٠ر٠٠٧٦٨	٠ر٠٠٧٨٩	٠ر٠١٤٦٩	٠ر٠١٥٤٧	٠ر٠٢٢١١	٠ر٠٢٣٨٣	٠ر٠٢٩٩٦	٠ر٠٣٣٠٤
٢٠	٠ر٠٠٢١٤	٠ر٠٠٢١٦	٠ر٠٠٨٨٢	٠ر٠٠٩١٠	٠ر٠١٥٩٠	٠ر٠١٦٨٠	٠ر٠٢٣٣٩	٠ر٠٢٥٣٠	٠ر٠٣١٣١	٠ر٠٣٤٦٧
٣٠	٠ر٠٠٣٢٣	٠ر٠٠٣٢٦	٠ر٠٠٩٩٧	٠ر٠١٠٣٣	٠ر٠١٧١٢	٠ر٠١٨١٦	٠ر٠٢٤٦٨	٠ر٠٢٦٨١	٠ر٠٣٢٦٧	٠ر٠٣٦٣١
٤٠	٠ر٠٠٤٣٢	٠ر٠٠٤٣٩	٠ر٠١١١٣	٠ر٠١١٥٨	٠ر٠١٨٣٥	٠ر٠١٩٥٥	٠ر٠٢٥٩٨	٠ر٠٢٨٣٣	٠ر٠٣٤٠٥	٠ر٠٣٧٩٨
٥٠	٠ر٠٠٥٤٣	٠ر٠٠٥٥٤	٠ر٠١٢٣١	٠ر٠١٢٨٦	٠ر٠١٩٥٩	٠ر٠٢٠٩٥	٠ر٠٢٧٣٠	٠ر٠٢٩٨٨	٠ر٠٣٥٤٤	٠ر٠٣٩٦٩
٦٠	٠ر٠٠٦٥٥	٠ر٠٠٦٧١	٠ر٠١٣٤٩	٠ر٠١٤١٥	٠ر٠٢٠٨٥	٠ر٠٢٢٣٨	٠ر٠٢٨٦٢	٠ر٠٣١٤٥	٠ر٠٣٦٨٤	٠ر٠٤١٤١

الدقائق	$\alpha = 25^\circ$		$\alpha = 26^\circ$		$\alpha = 27^\circ$		$\alpha = 28^\circ$		$\alpha = 29^\circ$	
	λ_0	ξ_0	λ_0	ξ_0	λ_0	ξ_0	λ_0	ξ_0	λ_0	ξ_0
صفر	٠ر٠٣٦٨٤	٠ر٠٤١٤١	٠ر٠٤٥٥٠	٠ر٠٥٢٣٢	٠ر٠٥٤٦٤	٠ر٠٦٤٢٤	٠ر٠٦٤٢٧	٠ر٠٧٧٢٤	٠ر٠٧٤٤٠	٠ر٠٩١٣٨
١٠	٠ر٠٣٨٢٥	٠ر٠٤٣١٦	٠ر٠٤٦٩٩	٠ر٠٥٤٢٤	٠ر٠٥٦٢١	٠ر٠٦٦٣٣	٠ر٠٦٥٩٢	٠ر٠٧٩٥٢	٠ر٠٧٦١٤	٠ر٠٩٣٨٥
٢٠	٠ر٠٣٩٦٧	٠ر٠٤٤٩٤	٠ر٠٤٨٥٠	٠ر٠٥٦١٨	٠ر٠٥٧٨٠	٠ر٠٦٨٤٥	٠ر٠٦٧٥٩	٠ر٠٨١٨٢	٠ر٠٧٧٩٠	٠ر٠٩٦٣٦
٣٠	٠ر٠٤١١١	٠ر٠٤٦٧٤	٠ر٠٥٠٠١	٠ر٠٥٨١٥	٠ر٠٥٩٣٩	٠ر٠٧٠٦١	٠ر٠٦٩٢٧	٠ر٠٨٤١٦	٠ر٠٧٩٦٧	٠ر٠٩٨٩٠
٤٠	٠ر٠٤٢٥٦	٠ر٠٤٨٥٧	٠ر٠٥١٥٤	٠ر٠٦٠١٥	٠ر٠٦١٠٠	٠ر٠٧٢٧٨	٠ر٠٧٠٩٧	٠ر٠٨٦٥٤	٠ر٠٨١٤٥	٠ر١٠١٤٨
٥٠	٠ر٠٤٤٠٣	٠ر٠٥٠٤٣	٠ر٠٥٣٠٩	٠ر٠٦٢١٨	٠ر٠٦٢٦٣	٠ر٠٧٥٠٠	٠ر٠٧٢٦٨	٠ر٠٨٨٩٤	٠ر٠٨٣٢٥	٠ر١٠٤٠٩
٦٠	٠ر٠٤٥٥٠	٠ر٠٥٢٣٢	٠ر٠٥٤٦٤	٠ر٠٦٤٢٤	٠ر٠٦٤٢٧	٠ر٠٧٧٢٤	٠ر٠٧٤٤٠	٠ر٠٩١٣٨	٠ر٠٨٥٠٧	٠ر١٠٦٧٣

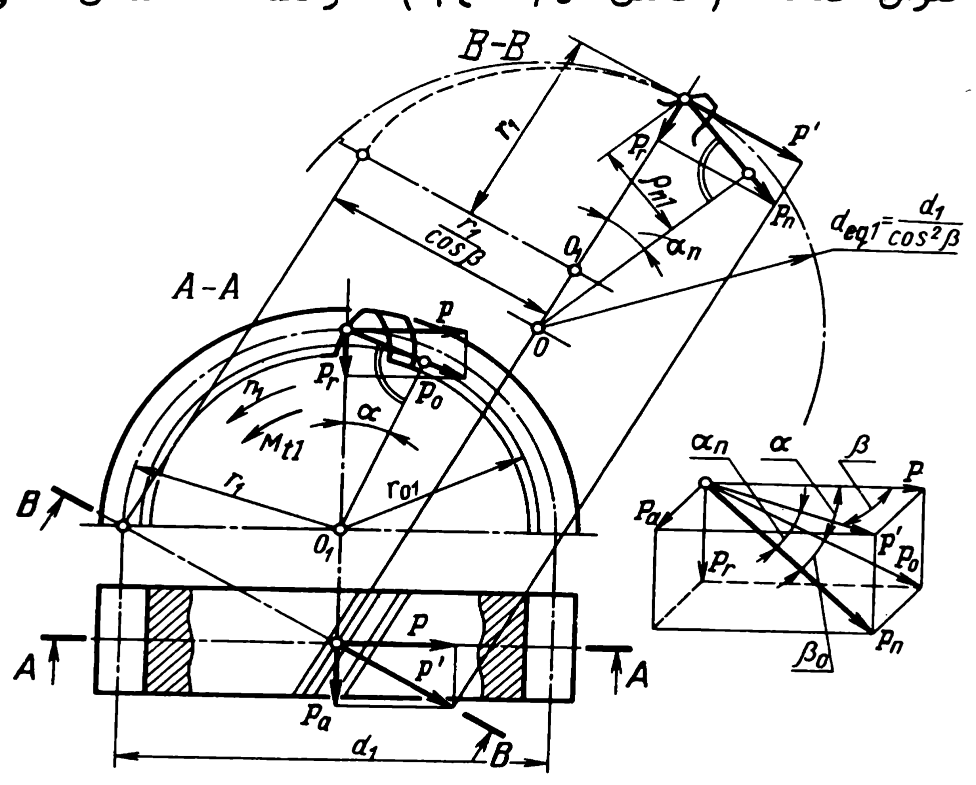
ملحوظة : تحدد قيم λ_0 و ξ_0 بالنسبة للقيم البينية للزوايا بطريقة الاستنتاج بالاستكمال الرياضي .

والقيم الحسابية لكل من الموديول والمسافة بين المحورين يلزم تحويلها الى القيم المنصوص عليها فى المواصفات القياسية المعنية. وفى حالة تعديل بعض القيم الاساسية (z ، m ، ξ ، A) يلزم اجراء اعادة حساب المتانة بوصفه حسابا للمراجعة. ومن المعطيات النهائية للحسابات الهندسية ترسم رسومات العجلات (انظر ص ٢٧٠) وجسم وسيلة نقل الحركة (انظر ص ٣٨٠).

حساب وسائل نقل الحركة بالتروس الاسطوانية ذات الاسنان الانفوليوتية المائلة والمتعاكسة

ان الافكار المبدئية لحساب وسائل نقل الحركة بالتروس ذات الاسنان المائلة مماثلة للافكار الواردة فى حساب الوسائل ذات الاسنان المستقيمة. لذا سوف نستعرض فيما يلى فقط بعض خصائص الحساب الناتجة عن هندسة العجلات ذات الاسنان المائلة والمتعاكسة.

القوى المؤثرة فى التعشيق. نغرض أن هناك عزم لى مقداره M_{t1} يؤثر على الترس القائد (الشكل ١٥ - ٢٤). والضغط الكامل على السنة



الشكل ١٥ - ٢٤

P_n يحدث فى مستوى التعشيق متعامدا على سطح الاسنان. وحيث أن الاسنان مائلة بزاوية β_0 فى مستوى التعشيق، فان المتجه P_n مائل أيضا بزاوية β_0 بالنسبة للمستوى الطرفى (يهمل تأثير الاحتكاك). ولنحلل هذا الجهد الى ثلاث مركبات - محيطية P ، وقطرية P_r ، ومحورية P_a

ومقدار واتجاه القوتين المحيطية والقطرية يتحددان بنفس الطريقة المستعملة فى وسيلة نقل الحركة ذات الاسنان المستقيمة.
والقوة المحورية

$$P_a = P \tan \beta$$

حيث β - زاوية ميل الاسنان على الاسطوانة الابتدائية.
واتجاه القوة المحورية يعتمد على اتجاهات الدوران وميل الاسنان. والشكل ١٥ - ٢٤ يوضح القوة فى حالة الاتجاه اليمينى لميل الاسنان على العجلة القائدة ودورانها عكس عقارب الساعة. وعند تغير اتجاه ميل الاسنان أو دوران العجلة، يتغير أيضا اتجاه القوة المحورية الى عكسه.
وفى وسيلة نقل الحركة ذات الاسنان المائلة، حتى فى حالة الوضع المتماثل للعجلات بين كراسى محاورها، تكون الاحمال فى الاخيرة غير متساوية، حيث ان رد الفعل الناتج من العزم $P_a r$ على أحد الكراسى متجه بنفس اتجاه رد الفعل الناتج من القوة القطرية P_r ، أما فى الكرسى الآخر فالاتجاهان متضادان. ويجب ان يكون تصميم الركائز مختارا بحيث يتلقى القوة المحورية كرسى المحور الذى يحمل الحمل القطرى الاقل.
ويمكن حساب القوة العمودية بواسطة التناسب الذى يمكن استنتاجه بمساعدة الشكل ١٥ - ٢٤

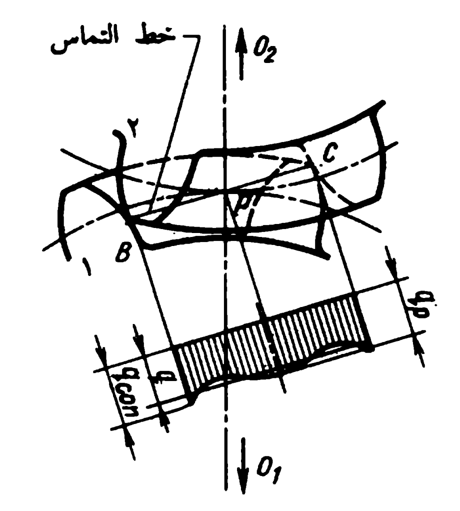
$$P_n = \frac{P_o}{\cos \beta_0} = \frac{2M_{t1}}{d_{o1} \cos \beta_0} = \frac{2M_{t1}}{d_{p1} \cos \alpha_p \cos \beta_0} \tag{15.40}$$

وتؤخذ هذه القوة كقوة اساسية عند حساب متانة أسنان التروس ذات الاسنان المائلة والمتعاكسة.
الحمل الحسابى . اذا افترضنا أن الحمل النوعى موزع بانتظام، لأمكن اعتبار أن $q = \frac{P_n}{l}$. وفى اللحظة الذى يحدث فيها تماس الاسنان على أقل طول كلى لخطوط التماس، يكون الحمل النوعى اكبر ما يمكن، لذلك يلزم لتحديد هذا الضغط التعويض ب l_{min} المحسوبة من الصيغة (15.3) مع أقل قيمة لمعامل اختلاف الطول الاجمالى لخطوط التماس λ_{min} .
والقيمة الفعلية للحمل النوعى الاقصى تكون اكبر حيث أن الحمل على خطوط التماس فى وسائل نقل الحركة بالاسنان المائلة يتوزع بغير انتظام مثلما هو عليه الحال فى الوسائل ذات الاسنان المستقيمة. الا أن سبب هذا ليس فقط تشوه اجزاء الوسيلة وعدم دقة تصنيعها فقط، بل أيضا ان خطوط التماس تتخذ وضعا مائلا على الاسنان. وتتسبب الحالة الاخيرة فى أن الجساءة الكلية لزوج الاسنان (١)، (٢) (الشكل ١٥ - ٢٥) تصبح مقدارا

متغيرا على طول خط التماس، مما يؤدى الى زيادة الحمل النوعى فى منطقة القطب q_n وعند طرفى خط التماس q_{con} . وعلى أساس ما سبق ذكره يمكن تصور الحمل النوعى الاقصى q_{des}. مع اعتبار معامل نظام التحميل ومعامل الحمل الديناميكى على الشكل التالى

$$q_{des} = q k_{load} k_c k_d = \frac{2M_{t1} k_{load} k_c k_d}{d_{p1} \cos \alpha_p b \varepsilon \lambda_{min}} \qquad (15.41)$$

حيث k_c - معامل تركيز الاحمال فى القطاع المعنى من خط التماس. وقيمة المعامل k_c تعتمد على لتلافى أى نوع من الاعطاب فى وسيلة نقل الحركة يجرى الحساب. وبالتقريب يمكن ايجاد قيمة k_c من الصيغة (15.14) اذا اعتبرنا أن k تساوى ١٨ر١ بالنسبة لحسابات التفتت، k = ٩٠ر٠ لتجنب التكسر، k = ٨٠ر١ لتجنب العض.



الشكل ١٥-٢٥

وبسبب أن وسائل نقل الحركة بالتروس ذات الاسنان المائلة والمتعاكسة تعمل بانتظام اكبر من وسائل نقل الحركة بالتروس ذات الاسنان المستقيمة (انظر ص ٢٥٥) وأن أسنانها تلين أسرع ، فان الاحمال الديناميكية فى وسائل نقل الحركة ذات التروس المائلة والمتعاكسة أقل مما هى عليه فى الوسائل ذات الاسنان المستقيمة. والقيم التقريبية لمعامل الحمل الديناميكى k_d للعجلات ذات الاسنان المائلة والمتعاكسة مبينة فى الجدول ١٥ - ٩ .

الجدول ١٥ - ٩

معامل الحمل الديناميكى k_d للعجلات ذات الاسنان المائلة

درجة الدقة	صلادة سطح أسنان العجلة	k_d عند السرعات المحيطية متر/الثانية				
	HB	٣ >	٣ - ٨	٨ - ١٢	١٢-١٨	١٨-٢٥
٦	⩽ ٣٥٠ > ٣٥٠	- -	١ ١	١ر١ ١	٢ر١ ١ر١	٤ر١ ٢ر١
٧	⩽ ٣٥٠ > ٣٥٠	١ ١	١ ١	٢ر١ ١ر١	٣ر١ ٢ر١	٥ر١ ٣ر١
٨	⩽ ٣٥٠ > ٣٥٠	١ر١ ١ر١	٣ر١ ٢ر١	٤ر١ ٣ر١	- -	- -
٩	⩽ ٣٥٠ > ٣٥٠	٢ر١ ٢ر١	٤ر١ ٣ر١	- -	- -	- -

حساب الاسنان على متانة التلامس . فى الصيغة (2.30) يلزم التعويض بقيمة نصف القطر المكافىء لتقوس الشكل فى مقطعه العمودى ونصف قطر التقوس فى هذا المقطع (الشكل ٥ ١-٢٤) بناء على علاقة الهندسة التفاضلية مرتبط بنصف قطر التقوس من المقطع الطرفى بالصيغة $\rho_n = \frac{\rho}{\cos\beta_0}$. وبناء على هذا الاساس ومع أخذ العلاقة (15.16) فى الاعتبار فان

$$\rho = \frac{\rho_{n1}\,\rho_{n2}}{\rho_{n2} \pm \rho_{n1}} = \frac{\rho_1\rho_2}{\rho_2 \pm \rho_1}\,\frac{1}{\cos\beta_0} = \frac{d_{p1}}{2}\,\frac{i}{i+1}\,\frac{\cos\alpha_p}{\cos\beta_0}\tan\alpha \qquad (15.42)$$

وبعد التعويض فى الصيغة (2.30) بقيمة الحمل النوعى من الصيغة (15.41) ، ونصف القطر المكافىء للتقوس نحصل على

$$\sigma_{sur} = k_{mat}k_\alpha\,k_\beta\sqrt{\frac{M_{t1}\,k_c\,k_d}{d_{p1}^2\,b}\;\frac{i\pm 1}{i}} \leqslant [\sigma]_{sur} \qquad (15.43)$$

حيث $k_\beta = \sqrt{\frac{\cos\beta_0}{\varepsilon\,\lambda_{min}}}$ - وهو معامل يأخذ فى الاعتبار تأثير ميل الاسنان .

ومن الصيغة (15.43) يمكن بنفس الطريقة التى اتبعت فى حالة الاسنان المستقيمة، الحصول على صيغة لتعيين قطر الترس القائد والمسافة بين المحورين

$$d_{p1} = \sqrt[3]{\left(\frac{k_{mat}k_\alpha k_\beta}{[\sigma]_{sur}}\right)^2\frac{M_{t1}\,k_c\,k_d}{\Psi_p}\;\frac{i\pm 1}{i}} \qquad (15.44)$$

$$A = (i\pm 1)\sqrt[3]{\left(\frac{k_{mat}k'_\alpha k_\beta}{[\sigma]_{sur}}\right)^2\frac{M_{t1}\,k_c k_d}{\psi\, i}} \qquad (15.45)$$

وتؤخذ قيم المعاملات k_{mat} ، k_α ، k'_α نفس القيم المأخوذة لوسائل نقل الحركة ذات الاسنان المستقيمة؛ $k_\beta \approx$ ٨ر٠ . وعند اختيار ψ يمكن الاسترشاد بالتوصيات الواردة بالنسبة للعجلات ذات الاسنان المستقيمة . وفى وسائل نقل الحركة ذات العجلات المسننة الموجودة بين كراسى المحاور وفى حالة التحميل الدائم تكون $\Psi_p \leqslant$ ٢ر٠ ، وفى حالة التحميل غير الدائم تكون $\Psi_p \leqslant$ ٦ر١ . واذا كانت حتى عجلة واحدة موضوعة على الكابولى فانه بالتالى تؤخذ قيمة Ψ_p تساوى ٩ر٠ و ٨ر٠ .

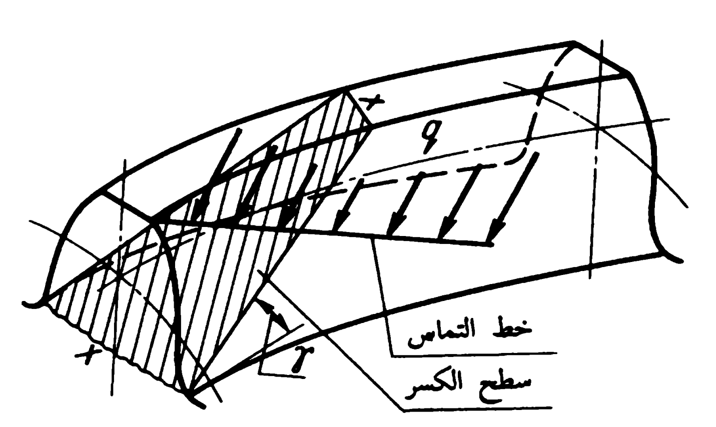
والاجهادات المسموح بها تختار وفقا للتوصيات الخاصة بالعجلات ذات الاسنان المستقيمة. وعندما لا تتساوى صلادة أسنان الترس القائد والعجلة المنقادة

$$[\sigma]_{sur} = \sqrt{\frac{([\sigma]_{sur1})^2 + ([\sigma]_{sur2})^2}{2}} \leqslant 1.22\,[\sigma]_{sur} \qquad (15.46)$$

حيث $[\sigma]_{sur1}$ ، $[\sigma]_{sur2}$ ـ الاجهادان المسموح بهما لاسنان الترس القائد والعجلة المسننة على التوالى .

حساب الاسنان على تلافي الكسر. يصعب التحديد التحليلى للاجهادات القصوى للثنى من المقطع الخطر من الاسنان المائلة ، بسبب شكلها المقوس والوضع المائل لخطوط تماسها . واكبر الاجهادات تؤثر فى الوقت الذى يحدث فيه التماس بين الاسنان عند أطرافها .

وفى هذه الحالة يمكن أن يقع خط التماس كما هو واضح فى الشكل ١٥ - ٢٦ . واذا كان للسنة طولا كافيا ، فبفضل التأثير الساند لجزئها غير المحمل ، وكذلك للتغير الملموس لعزم الثنى بالنسبة للطول فان المقطع الخطر المحتمل يمر لا بقاعدة السنة، بل يميل بالوضع $x - x$. وتوضح البحوث التجريبية أنه



الشكل ١٥ - ٢٦

كلما زادت زاوية ميل خط التماس β_0 ، كانت الزاوية γ لها اكبر.

واجهادات الثنى الاسمية يمكن تحديدها مثل حالة الاسنان المستقيمة باعتبار المقطع العمودى للاسنان المائلة. وعند ذلك يجب استبدال المقدار m فى الصيغة (15.27) ، بالموديول فى المقطع العمودى m_n ، أما معامل شكل السنة γ فيؤخذ من الرسوم البيانية (الشكل ١٥ - ٢٣) بالنسبة لعدد الاسنان فى العجلة المسننة المكافئة فى المقطع العمودى والذى يحسب من الصيغة المعلومة من منهج نظرية الماكينات:

$$z_{eq} = \frac{z}{\cos^3 \beta_p} \tag{15.47}$$

وبناء على ذلك

$$\sigma_{bend} = \frac{q_{des} x}{m_n \gamma} \tag{15.48}$$

حيث x ـ معامل يأخذ فى الاعتبار تقليل الاجهادات فى الثنى نتيجة لميل الاسنان .

ويسمح البحث التقريبى فى حالة السنة الواقعة تحت الاجهاد بافتراض أن اجهادات الثنى فى المقطع الخطر من الاسنان المائلة المحسوبة حسب هذه الصيغة تتناسب مع المعامل $x = \cos^2\beta_p$. وعلى ذلك فبالنسبة للاسنان المائلة والمتعاكسة وبعد التعويض بقيمة q_p نحصل على

$$\sigma_{bend} = \frac{2M_{t1}\ k_c\, k_d \cos^2 \beta_p}{d_{p1}\ \cos\alpha_p\, b\, \varepsilon \lambda_{min} m_n \gamma} \leqslant [\sigma]_{bend}$$

وبالنسبة للحسابات التقريبية التمهيدية يمكن اعتبار أن

$$\frac{\cos^2 \beta_p}{\varepsilon \lambda_{min}\ \cos\alpha_p} = C$$

$$\sigma_{bend} = C\ \frac{2M_{t1}\ k_c\, k_d}{d_{p1}\, b m_n \gamma} \leqslant [\sigma]_{bend}\ \text{kgf/cm}^2 \qquad (15.49)$$

حيث C - معامل يعتمد على زاوية الميل ويؤخذ مساويا للقيمة ٧٥ر٠ - ٥ر٠ للزوايا β_p = ٨ — ٤٥° .

وبالمثل بالنسبة للصيغة (15.31) نحصل للعجلات ذات الاسنان المائلة والمتعاكسة على الصيغة :

$$m_n = 1.28\ \sqrt[3]{\frac{CM_{t1}\ k_c\, k_d \cos\beta_p}{z_1\, \gamma_1\ \psi_m\ [\sigma]_{bend}}} \qquad (15.50)$$

وعندما يجرى اختيار زاوية الميل β_p ، يجب تذكر أن العجلات ذات الاسنان المائلة أغلى بعض الشيء من العجلات ذات الاسنان المستقيمة من نفس الدقة. واذا كان الميل قليلا فان ارتفاع تكلفة الانتاج والمراجعة لهذه العجلات لا تغطيه الفائدة العائدة من استخدامها . وفى حالة القيم الصغيرة للزاوية β_p لا تزيد نعومة التعشيق زيادة ملموسة. على حين أن زيادة هذه الزاوية تجر وراءها زيادة فى القوة المحورية وأبعاد الركائز أو الى استخدام كراسى محاور ارتكاز اضافية مما يؤدى بدوره الى زيادة أبعاد وسيلة نقل الحركة.

وفى التطبيق وبالاسترشاد بالافكار المذكورة ، تؤخذ زاوية ميل الاسنان فى العجلات ذات الاسنان المائلة مساوية ٨ - ١٥°. والعجلات ذات الاسنان المتعاكسة تصنع بزاوية ميل $\beta_p \leqslant$ ٣٠° ؛ وفى هذه الحالة تكون القوى المحورية الناتجة على نصف الاسنان المتعاكسة متوازية بالتبادل فيما بينها (عندما يكون تركيب وسيلة نقل الحركة سليما) ولا تنتقل الى الركائز.

وعند اختيار الاجهادات المسموح بها يجب الاسترشاد بالتنبيهات الواردة فى ص ٢٨٧ .

حساب تلافى العض. يجرى حساب تلافى العض (الزرجنة) فى وسائل نقل الحركة ذات الاسنان المائلة حسب الصيغة (15.39) التى توضع فيها قيمة الضغط النوعى بالنسبة لنقط التماس الطرفية. ولهذا ، ففى الصيغة (15.41) ينبغى بغية تعيين القيمة q_{des} الاخذ

بنظر الاعتبار المقدار المناسب لمعامل تركيز الحمل (راجع ص ٢٩٥).
ويجرى حساب القيمة المحولة لنصف قطر التقوس حسب الصيغة (15.42) ، حيث يعوض فيها بأنصاف أقطار تقوس أشكال الاسنان بالنسبة للنقط الطرفية من خط التعشيق.

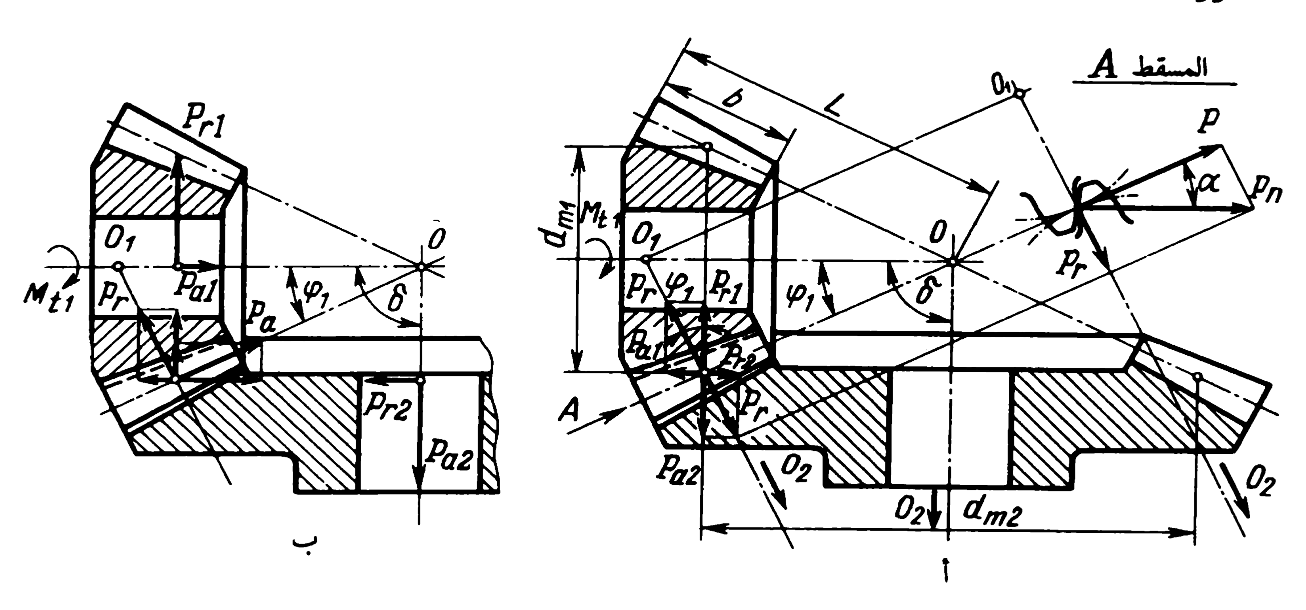
حساب الابعاد الهندسية الاساسية. فتحدد أبعاد العجلات ذات الاسنان المائلة (والمتعاكسة) من الصيغ الخاصة بالعجلات ذات الاسنان المستقيمة (جدول رقم ١٥ - ٧)، اذا ما أخذت القيم m ، f_0 ، c_0 ، ξ بالنسبة للمقطع الطرفى وبالتالى عليها أن تكون مميزة بالرمز s . وحيث أن متغيرات عناصر التعشيق فى العجلات ذات الاسنان المائلة خاضعة للتوصيف القياسى بالنسبة للمقطع العمودى، لذا يلزم اعتبار الرابطة بين المتغيرات فى المقاطع الطرفية والعمودية (ذات الرمز n):

$$m_n = m_s \cos \beta_p ; \qquad f_{os} = f_{on} \cos \beta_p ;$$

$$c_{os} = c_{on} \cos \beta_p ; \qquad \xi_s = \xi_n \cos \beta_p ;$$

حساب وسائل نقل الحركة بالعجلات المسننة المخروطية

ان الافكار الابتدائية الاساسية المطبقة عند حساب وسائل نقل الحركة ذات العجلات المسننة الاسطوانية محققة أيضا بالنسبة لوسائل نقل الحركة بالتروس المخروطية. وفيما يلى سنستعرض مجرد طرق استنتاج الصيغ الحسابية وخصائصها المشروطة من هندسة العجلات المسننة المخروطية.



الشكل ١٥ - ٢٧

القوى المؤثرة على التعشيق. لنعين مكونات الضغط الكامل بين أسنان وسيلة نقل الحركة بالتروس المخروطية ذات الاسنان المستقيمة (الشكل ١٥ - ٢٧).

فالجهد المحيطى على القطر المتوسط للعجلة المخروطية المسننة

$$P = \frac{2M_{t1}}{d_{m1}} \qquad (15.51)$$

والجهد نصف القطرى على القطر المتوسط

$$P_r = P \tan \alpha$$

ولنحلل هذه القوة الى اتجاهين ، موازيين لمحورى العجلتين . ومن الشكل ١٥ - ٢٧ ، أ فان القوة القطرية على العمود القائد

$$Pr_1 = P \tan \alpha \cos \varphi_1 \qquad (15.52)$$

والقوة المحورية

$$P_{a1} = P \tan \alpha \sin \varphi_1 \qquad (15.53)$$

والقوة القطرية على العمود المنقاد تساوى فى قيمتها الجهد المحورى على العمود القائد ، أما فى الاتجاه فهى عكس اتجاه الاولى

$$P_{r2} = -P_{a1}$$

وبالمثل :

$$P_{a2} = -P_{r1}$$

ومن القوى الموجودة P ، P_r و P_a تحسب ردود الافعال فى كراسى المحاور وبعد ذلك تعين أبعاد العمودين فى وسيلة نقل الحركة وأبعاد كراسى المحاور فيها .
ويؤثر على عمودى وسيلة نقل الحركة بالتروس المخروطية (الشكل ١٥ - ٢٧ ، ب) علاوة على مركبات القوة القطرية P_r المحسوبة من الصيغتين (15.52) و (15.53) ، مركبات القوة المحورية P_a التى يحدد مقدارها من الصيغة

$$P_a = P \tan \beta_m$$

حيث β_m - زاوية ميل الاسنان على القطر المتوسط للترس القائد d_{m1} .
ولننقل القوتين P_r و P_a الى قطب التعشيق على القطر المتوسط للعجلتين المخروطيتين ، ونحللهما فى اتجاهين ، عموديين على محورى العجلتين (الشكل ١٥ - ٢٧ ، ب) . وبجمع مكونات القوى نحصل على القوة القطرية على العمود القائد

$$P_{r1} = P \tan \alpha \cos \varphi_1 + P \tan \beta_m \sin \varphi_1$$

والقوة المحورية

$$P_{a1} = P \tan\alpha \sin\varphi_1 - P \tan\beta_m \cos\varphi_1$$

واذا ما نقلنا فى المتساويتين الاخيرتين $P \sin\varphi_1$ خارج القوس، وأخذنا فى الاعتبار أنه عند تغير ميل الاسنان سيتغير اتجاه القوة المحورية، نحصل للحالة العامة على :

$$P_{r1} = -P \sin\varphi_1 \, (i \tan\alpha \pm \tan\beta_m) \qquad (15.54)$$

$$P_{a1} = -P \sin\varphi_1 \, (-\tan\alpha \pm i \tan\beta_m) \qquad (15.55)$$

واشارة (+) أمام العضو الثانى فى القوسين، توضع عند اتفاق اتجاه ميل الاسنان مع اتجاه دوران العجلة القائدة من ناحية القطر الكبير (مثلا اذا كان اتجاه الاسنان الى اليمين، والدوران مع عقرب الساعة)، اما اشارة (—) فتؤخذ عند عدم اتفاق اتجاه ميل الاسنان مع اتجاه الدوران (مثلا اتجاه الاسنان الى اليمين، والدوران ضد عقرب الساعة).

واذا كانت القوة القطرية P_r على العجلة القائدة من الصيغة (15.54) نتجت باشارة (+)، فانها تكون متجهة من نقطة التماس الى محور العمود، وعند اشارة (—) فانها تكون متجهة فى عكس الاتجاه. واذا كانت القوة المحورية P_a على العجلة القائدة من المعادلة (15.55) باشارة (+) فانها تكون متجهة نحو قمة المخروط، وفى حالة الاشارة (—) تكون متجهة فى عكس الاتجاه.

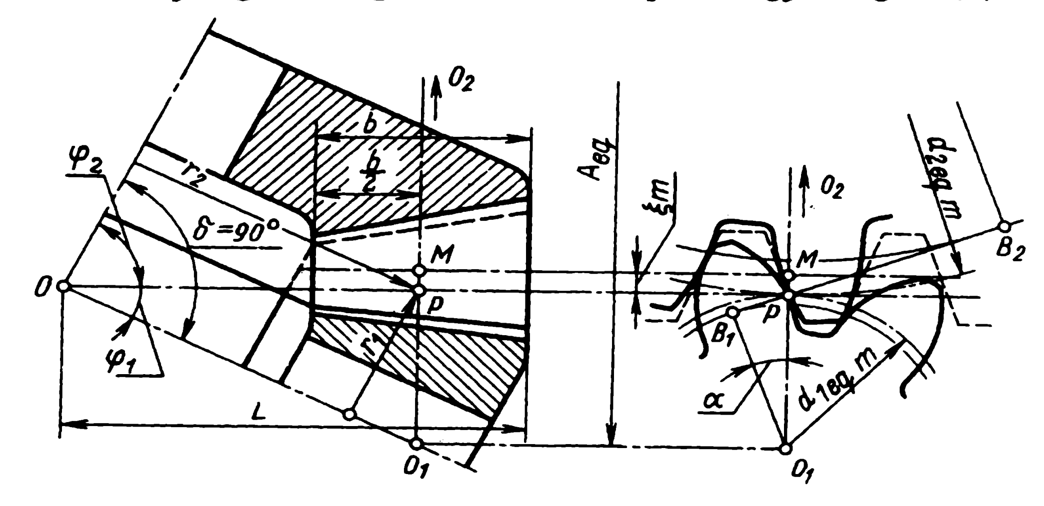
حساب متانة تماس الاسنان. يقوم حساب وسائل نقل الحركة بالتروس المخروطية على فرض أن مقدرتها فى الحمل تساوى مقدرة الحمل فى وسيلة نقل الحركة بالتروس الاسطوانية المكافئة* عندما يكون عرض عجلتى الاخيرة مساويا لعرض العجلات المخروطية. وعلى هذا الاساس تستخدم صيغ العجلات الاسطوانية المسننة مع استبدال d_{p1}, A, i, M_{t1} بالقيم المناظرة $d_{p1\,eq}, A_{eq}, i_{eq}, M_{t1\,eq}$، المعينة لوسيلة نقل الحركة المكافئة ذات المسافة بين المحورين O_1O_2 (الشكل ١٥ – ٢٨). وبناء على ذلك فانه بالنسبة لوسيلة نقل الحركة المكافئة الاسطوانية، فى المقطع المتوسط لحافة وسيلة نقل الحركة المخروطية

$$\sigma_{sur} = k_{mat} k_\alpha \sqrt{\frac{M_{t1\,eq}\, k_c\, k_d (i_{eq} + 1)}{d^2_{p1\,eq\,m}\, b i_{eq}}} \leqslant [\sigma]_{sur} \qquad (15.56)$$

---

* مفهوم وسيلة نقل الحركة بالتروس الاسطوانية المكافئة واردة فى منهج " نظرية الماكينات ".

وحيث أن الضغط بين أسنان وسيلة نقل الحركة الاسطوانية المكافئة يجب أن يكون مساويا للضغط بين أسنان وسيلة نقل الحركة



الشكل ١٥ - ٢٨

المخروطية الجارى حسابها (بناء على الفكرة المشار اليها أعلاه) ، فانه من الشكل (١٥ - ٢٨) يمكن الحصول على

$$P = \frac{M_{t1}}{r_1} = \frac{2M_{t1}}{d_{1\ eq\ m}\cos\varphi_1} = \frac{2M_{t1\ eq}}{d_{1\ eq\ m}}$$

ومن هنا

$$M_{t1\ eq} = \frac{M_{t1}}{\cos\varphi_1} = M_{t1}\sqrt{\tan^2\varphi_1 + 1} = M_{t1}\sqrt{i^2 + 1}\ \text{kgf}\cdot\text{cm}$$

ومن منهج نظرية الماكينات معلوم أن :

$$i_{eq} = i^2; \qquad z_{eq} = \frac{z}{\cos^3\beta\cos\varphi}; \qquad d_{p1\ eq\ m} = \frac{d_{p1\ m}}{\cos\varphi_1};$$

$$A_{eq} = (L - 0.5b)\frac{i^2 + 1}{i}, \qquad m_m = m\frac{L - 0.5b}{L}$$

وبالتعويض فى الصيغة (15.56) بالمقادير المناسبة نحصل على :

$$\sigma_{sur} = k_{mat}k_\alpha\sqrt{\frac{M_{t1}k_ck_d\sqrt{i^2 + 1}}{d^2_{p1\ m}\,bi^2}} \tag{15.57}$$

وعند طريق الاختصارات البسيطة المماثلة لما أجرى فى حالة وسائل نقل الحركة بالتروس الاسطوانية، نحصل على الصيغ اللازمة لاجراء حسابات التصميم :

$$d_{p1\,m} = \sqrt[3]{\left(\frac{k_{mat}k_\alpha}{[\sigma]_{sur}}\right)^2 \frac{M_{t1}\,k_c\,k_d\sqrt{i^2 + 1}}{\Psi_p\,i^2}} \tag{15.58}$$

$$L = \psi_w \sqrt{i^2 + 1} \sqrt[3]{\left(\frac{k_{mat}\, k'_\alpha}{[\sigma]_{sur}}\right)^2 \frac{M_{t1}\, k_c\, k_d}{(\psi_w - 0.5)i}} \qquad (15.59)$$

والنسبة $\psi_w = \frac{L}{b}$ تؤخذ مساوية للقيم من ٢٫٨ (بالنسبة لـ $i = 1$) الى ٥ (بالنسبة $i = 6$) .

ومعامل تركيز الحمل k_c يحسب من الصيغة (15.14) ، مع استبدال d بالقطر d_m . ومعامل الحمل الديناميكي يختار من الجدول (١٥ - ٢) أو الجدول (١٥ - ٩) . وعند تحديد السرعة المحيطية يجرى الحساب أيضا بالنسبة للقطر المتوسط للعجلة المخروطية. والاجهادات المسموح بها تؤخذ وفقا للاجهادات المقترحة فى ص ٢٨٢.

حساب الاسنان لتلافى الكسر. فى المعتاد يفترض الفرض الذى استخدمناه فى السابق عند حساب العجلات المسننة المخروطية على متانة التلامس ، وهو أن العجلات المسننة المخروطية تقدر على نقل نفس الحمل الذى تنقله عجلات وسيلة نقل الحركة الاسطوانية المكافئة. وفى هذه الحالة يكون الاجهاد عند جذر السنة فى العجلات المخروطية مساويا لاجهاد الثنى فى أسنان العجلات الاسطوانية المكافئة ذات العرض المساوى لعرض الحافة المسننة للعجلات المخروطية. ومن هنا نجد أنه فى الصيغتين (15.29) ،(15.49) يجب اجراء تبديل مناظر لما أجريناه فى السابق ، والنتيجة نحصل على

$$\sigma_{bend\,1} = \frac{2CM_{t1}\, k_c\, k_d}{d_{p1\,m} b m_{nm} y_1 \cos\alpha_p} \leqslant [\sigma]_{bend1} \qquad (15.60)$$

وفى الصيغة (15.60) يدخل معامل شكل السنة y ، وتحدد قيمته من الرسم البيانى (الشكل ١٥ - ٢٣) لعدد أسنان العجلات المسننة الاسطوانية المكافئة z_{eq} . ويؤخذ المعامل C أيضا بنفس القيم المأخوذة لوسائل نقل الحركة الاسطوانية: للاسنان المستقيمة $C = 1$ ؛ وللاسنان المائلة $C \approx 0.6$ ، عندما تكون β_m=٢٠–٣٠°.

ولا ينصح باستخدام نسب نقل السرعة فى اكبر من ٦ بالنسبة لوسائل نقل الحركة بالتروس المخروطية ، حيث ان أبعاد وسيلة نقل الحركة تكون كبيرة، وبسبب عدم كفاية جساءة الترس القائد يصبح تركيز الحمل اكثر من اللازم.

وكما فى الصيغة (15.50) ، نحصل بالنسبة لموديول القطر المتوسط للترس القائد ، على :

$$m_{nm} = 1.28 \sqrt[3]{\frac{CM_{t1}\, k_c\, k_d \cos\beta_p}{z_1 \psi_m\, y_1\, [\sigma]_{bend1}}} \qquad (15.61)$$

ويجب اختيار عدد الاسنان. واعتبارا لأن عدد أسنان العجلة المسننة الاسطوانية المكافئة $z_{1\,eq}$ يكون باستمرار اكبر من عدد اسنان الترس

المخروطى القائد z_1 ، يجب اختيار عدد أسنان الاخير أقل من ١٧ . وتؤخذ النسبة $\Psi_m = \frac{b}{m_m} \geqslant 10$ ، وزاوية الميل β_p=٢٠–٣٠° وتعين الاجهادات المسموح بها وفقا للتوصيات الواردة فى حساب وسائل نقل الحركة ذات التروس الاسطوانية .

وأبعاد وسائل نقل الحركة المفتوحة تحدد من حساب الاسنان على الثنى .

ومن الصيغتين (15.57) ، (15.60) يمكن بالتقريب حساب وسائل نقل الحركة بالتروس المخروطية ذات الاسنان المقوسة. وحساب الاسنان على العض يجرى بالصيغة (15.39) ، ويعوض فيها بالمعطيات الخاصة بالعجلات الاسطوانية المكافئة.

الجدول ١٥ – ١٠

صيغ تعيين الابعاد الاساسية فى وسائل نقل الحركة بالتروس المخروطية

عناصر التعشيق	الصيغ
زاوية المخروط الاساسى للترس القائد	$\tan\varphi_1 = \frac{z_1}{z_2} = \frac{1}{i}$
زاوية المخروط الاساسى للعجلة المنقادة	$\varphi_2 = 90° - \varphi_1$
أقطار دائرتى الخطوة	$d_{p1} = r_1 m_s; \quad d_{p2} = r_2 m_s$ mm
القطران الخارجيان	$D_{e1} = d_{p1} + 2m_s\cos\varphi_1$ mm; $D_{e2} = d_{c2} + 2m_s\cos\varphi_2$ mm
المسافة المخروطية	$L = 0.5\, m_s\sqrt{z_1^2 + z_2^2}$ mm
زوايا جذور الاسنان γ	$\tan\gamma = \frac{1.2\, m_s}{L}$
زوايا المخروط الخارجى	$\varphi_{e1} = \varphi_1 + \gamma_2; \quad \varphi_{e2} = \varphi_2 + \gamma_1$
معامل الكمال	$\Psi_w = \frac{L}{b}$
القطر الاكبر للعجلة المخروطية المنقادة	$d_p = d_{pm}\frac{\Psi_w}{\Psi_w - 0.5}$ mm
الموديول عند القطر الاكبر	$m = m_m\frac{\Psi_w}{\Psi_w - 0.5}$ mm
المديول الطرفى عند القطر الاكبر	$m_s = m\cos\beta_p$
زاوية ميل الاسنان فى منتصف عرض الحافة المسننة	$\beta_m = \beta_p\left(1 + \frac{0.5}{\Psi_w}\right)$
زاوية ميل الاسنان	$\tan\beta_p \geqslant \frac{\pi m}{b}\left(1 - \frac{1}{\Psi_w}\right)$

حساب الابعاد الهندسية الاساسية. بعد أن نعين المديول المتوسط m_c بواسطة حساب المتانة، والقطر المتوسط للترس القائد d_c أو المسافة المخروطية L ، يلزم اجراء الحسابات الهندسية لوسيلة نقل الحركة. وفى الجدول ١٥-١٠ توضح صيغ حساب الابعاد الاساسية للعجلات المخروطية المسننة لوسيلة نقل الحركة بين عمودين متعامدى المحورين ($\delta = 90°$). ويلزم اللجوء الى المراجع الخاصة لاجراء الحساب الهندسى للعجلات المخروطية ذات التعشيق المعدل والاسنان المستديرة.

حساب وسائل نقل الحركة بالتروس الاسطوانية من طراز نوفيكوف

معايير الحساب. يكون استخدام وسيلة نقل الحركة من طراز نوفيكوف رشيدا فى ظروف: أ - عدم وجود زيادة فى الحمل وأحمال قمة (أى أحمال كبيرة لفترات قصيرة) ؛ ب - عندما تكون المسافة بين المحورين ثابتة ؛ جـ - عندما تكون جساءة الاجزاء عالية فى وسيلة نقل الحركة؛ د - عندما تكون صلادة أسطح الاسنان $HB \leqslant$ ٣٥٠ . وحيث أن الكسر والتفتت يعتبران النوعين الاساسيين لتحطيم أسنان وسيلة نقل الحركة من طراز نوفيكوف ، يجب اجراء الحساب على أساس تلافى تكسر الاسنان وتحطم أسطح التشغيل فيها.

حساب متانة أسطح التشغيل فى الاسنان. تعتبر الخاصية الاساسية للتعشيق من طراز نوفيكوف هو أنه فى خلال الفترة الابتدائية القصيرة لعمل وسيلة نقل الحركة يحدث تليين للاسنان ، وتكتسب مساحات التماس شكلا معقدا ، ولذلك يصعب تحديد حالة الاجهاد فى منطقة التماس. وعلاوة على ذلك فان مقاومة التفتت فى قطاعات معينة تتباين كثيرا بالنسبة لارتفاع الاسنان المحدبة.

والزمن الذى توجد فيه النقط على سطح السنة فى منطقة التماس (خصوصا عند قمة السنة المحدبة) يكون اكبر ٣ - ٤ أضعاف ما هو عليه فى نقل الحركة بالانفوليوت، ويكون من نتيجة ذلك أن تتكون حالة اجهاد حرارى كبير وخطورة ظهور حالة تلاصق فى أسطح التماس. ولذلك يبدى تأثيرا على مقدرة الحمل ، ليس مقدار الاحمال القصوى للتماس وحدها ، بل والظروف فى منطقة التماس أيضا : أبعاد وشكل مساحة التماس، وسرعة الحركة النسبية بين الاسنان ، ولهذا السبب فان الصيغ الحسابية تبنى على أساس المعطيات التجريبية.

ويدخل فى أساس بناء العلاقات الحسابية، ظرف أن التماس فى حدود مساحته يحدث على قوس من دائرة نصف قطرها r وطوله L (انظر الشكل ١٥ - ٣). وأنصاف أقطار تقوس مقطع أسطح الاسنان

في مستوى عمودي على هذا الخط :

$$\rho' = \frac{d_{p1}}{2\sin^2\beta_p \sin\alpha} \quad , \quad \rho'' = \frac{d_{p2}}{2\sin^2\beta_p \sin\alpha}$$

أما نصف القطر المكافئ

$$\rho = \frac{d_{p1}}{2} \; \frac{i}{i \quad 1} \; \frac{1}{\sin^2\beta_p \, \sin\alpha} \tag{15.62}$$

وتحليل الخلوص بين السطحين الاسطوانيين المتلامسين بنصفي قطرين ρ' ، ρ'' ، الحالين محل سطح الاسنان، يعطى الاساس في استخلاص أنه في وسيلتي نقل الحركة المستاويتين في ρ، m_n، E ، P_n ، تكون حالة الاجهاد التي تحددها القيمة σ_{sur} متساوية في الحالتين، اذا كانت سرعتا الانزلاق بين الاسنان متقاربتين. ومن هنا تكون النتيجة أنه عندما تكون $\sigma_{sur1} = \sigma_{sur2}$ تكون $P_{n_1} = P_{n_2}$.

والشرط الثاني ينحصر في أنه عندما تزيد أبعاد الاسطح العاملة في أسنان احدى وسيلتي نقل الحركة بمقدار k مرة، فللمحافظة على اكبر اجهادات التلامس σ_{sur_1} مساويا للاجهادات على سطح أسنان الوسيلة الثانية للحركة ($\sigma_{sur_2} = \sigma_{sur_1}$)، يلزم أن تطبق على الوسيلة الثانية قوة تساوي $P_{n_2} = k^2 P_{n_1}$.

وحيث أن زيادة أبعاد الاسطح العاملة في الاسنان تتناسب مع الموديول فانه بالنسبة لوسيلة نقل الحركة التي فيها $\rho_2/m_{n_2} = \rho_1/m_{n_1}$ يمكن كتابة المعادلة :

$$P_{n_2} = \left(\frac{m_{n_2}}{m_{n_1}}\right)^2 P_{n_1} \tag{15.63}$$

وبأخذ نتائج التجارب في الاعتبار، يستبدل الاس ٢ بالاس ١٫٩ . وعند معالجة نتائج البحوث العملية في وسائل نقل الحركة (انظر ص ٣٩٧) ذات m_n = ٠٫٥ سم، ε_a = ١٫٢ عندما تكون النسبة ρ/m_n متغيرة (أي عندما تكون الزاوية β_p متغيرة)، تبين أن الحمل المسموح به يتناسب عكسيا مع $\sin\beta_p$. وبالتالي فبناء على الصيغة (15.62)، يكون الحملان P_{n_1} ، P_{n_2} المسموح بهما في وسيلتين لنقل الحركة متماثلتين فيما عدا زاويتي ميل الاسنان β_p ، مرتبطين بالشرط

$$P_{n_2} = P_{n_1} \frac{\sin\beta_{p_1}}{\sin\beta_{p_2}} = P_{n_1} \sqrt{\frac{\rho_2}{\rho_1}} \tag{15.64}$$

ولنقارن بين الاحمال المسموح بها في ثلاث وسائل لنقل الحركة: P_{n_1} للاولى (m_{n_1} ، ρ_1) ؛ P_{n_2} للثانية (m_n ، ρ) و P_{n_3} للثالثة

وفيها الموديول $m_n = m_{n_3}$ ، أما النسبة بين نصف قطر التقــــوس المكافىء ρ_3 الى الموديول m_{n_3} مساوية للنسبة $\frac{\rho_1}{m_{n_1}}$ ، أى :

$$\rho_3 = \rho_1 \frac{m_{n_3}}{m_{n_1}} = \rho_1 \frac{m_n}{m_{n_1}} \qquad (15.65)$$

وبناء على الشرط (15.63) نجد أن

$$\frac{P_{n_1}}{P_{n_3}} = \left(\frac{m_{n_1}}{m_{n_3}}\right)^{1.9} = \left(\frac{m_{n_1}}{m_n}\right)^{1.9}$$

ومن الصيغة (15.64) بأخذ المتساوية (15.65) فى الاعتبار نجد أن

$$\frac{P_n}{P_{n_3}} = \sqrt{\frac{\rho}{\rho_3}} = \sqrt{\frac{\rho\, m_{n_1}}{\rho_1\, m_n}}$$

وبحل المعادلتين الاخيرتين نجد أن

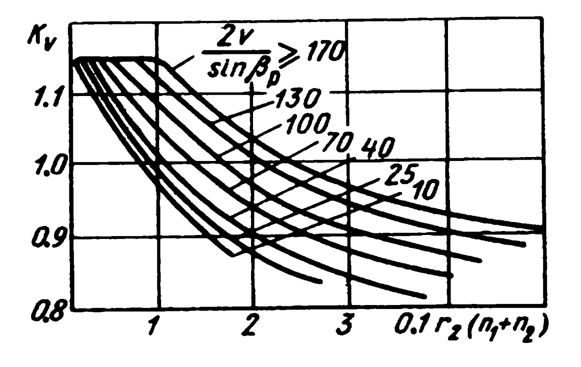
$$P_n = P_{n_1}\left(\frac{m_n}{m_{n_1}}\right)^{1.4} \left(\frac{\rho}{\rho_1}\right)^{0.5}$$

واذا عوضنا فى هذه الصيغة عن قيمة P_{n_1} ، التى وجدت من التجارب والمعبر عنها من خلال الاجهاد المسموح به $[\sigma]_{sur}$ ، وعن قيمة ρ من الصيغة (15.62) ، وأخذنا فى الاعتبـــــار أن $P = \frac{2M_{T_1}}{d_{p_1}}$ ، واذا أدخلنا معاملات للتصحيح تدخل فى اعتبارهــــا تأثير السرعة k_v ، ومامل التغطية k_ε لحصلنا على الصيغة النهائية :

$$d_{p_1} = 10^4 \sqrt[3]{\left[\frac{M_{t1} \tan\beta_p}{m_n^{1.4}\, k_v\, k_\varepsilon\, ([\sigma]_{sur})^2}\right]^2 \frac{i+1}{i}} \qquad (15.66)$$

والمعامل k_v الذى يعتمد على سرعة الانزلاق، والتدحرج فـــــى التعشيق يختار تبعا للسرعة المحيطية بالمتر/الثانية، ولزاوية ميـــل الاسنان β_p وعدد لفات الترس القائـــد n_1 والترس المنقاد n_2 (الشكل ١٥ - ٢٩). والمعامل الذى يعتمد على معامـــل التغطية المحورى $k_\varepsilon = \omega + 0.25\,\nu$ (انظر ص ٢٥٧).

ولغرض التحديد التقريبى للقيمـــة المسموح بها لعزم اللى على العجلـــة المنقادة فى وسيلة نقل الحركة ذات خطى التعشيق يمكن زيادة نتيجة حساب M_{t_1} من الصيغة (15.66) بنسبة ٣٠ ٪ .



الشكل ١٥ - ٢٩

حساب الاسنان لتلافي الكسر. نتيجة للتطبيق الموضعى للحمل، تصبح متانة كسر أسنان وسيلة نقل الحركة من طراز نوفيكوف أقل قليلا من حالة الاسنان الانفوليوتية، حيث الحمل موزع على طول السنة كله. ولتعيين اجهادات الثنى فى المنطقة الخطرة فى السنة، تؤخذ كأساس علاقة الاجهادات القصوى فى المنحنى الانتقالى للسنة المحملة بقوة عمودية على سطحها

$$\sigma_{bend} = \frac{\sigma M}{h^2}$$

حيث M - عزم الثنى فى المقطع الخطر؛

h - سمك السنة فى موضع اقترانها بمنحنيات الانتقال (fillets).

واذا أخذت فى الاعتبار علاقة عزم الثنى بمتغيرات السنة والحمل P_n (k_{mat}) ، وبموضع تطبيق الحمل (μ_T) ، وتأثير الابعاد النسبية للسنة (ψ) وزاوية ميل الاسنان على أبعاد مساحة التماس (k_β) ، عند ذلك يكون

$$\sigma_{bend} = \frac{6 P_n k_{mat} \mu_T \psi k_\beta}{h^2}$$

واذا ما عبرنا عن كل الابعاد الخطية لمقطع السنة من خلال الموديول العمودى m_n ، ووحدنا الابعاد الهندسية بمتغير واحد γ (معامل شكل السنة) نحصل على الصيغة التالية بشكلها العام

$$\sigma_{bend} = \frac{2 M_{t1} \gamma k_\beta}{d_{p1} m_n^2 \cos\alpha \cos\beta_p}$$

وبعد التعويض عن $d_{p1} = m_s z_1$ وتحويل المعاملات، تأخذ هذه الصيغة الشكل التالى :

$$\sigma_{bend} = \frac{2 \cdot 3 M_{t1} k_\beta k_d \gamma}{z_1 m_n^3 k_{\varepsilon\ bend}} \leqslant [\sigma]_{bend} \qquad (15.67)$$

$$m_n = 1.32 \sqrt[3]{\frac{M_{t1} k_\beta k_d \gamma}{z_1 k_{\varepsilon\ bend} [\sigma]_{bend}}} \qquad (15.68)$$

حيث $k_{\varepsilon b}$ = ١ + ٧ر٠ (ω - ١) -

- معامل يعتمد على معامل التغطية المحورى ؛

k_β - معامل يأخذ فى الاعتبار مقدار زاوية ميل الاسنان (الشكل ١٥ - ٣٠)؛

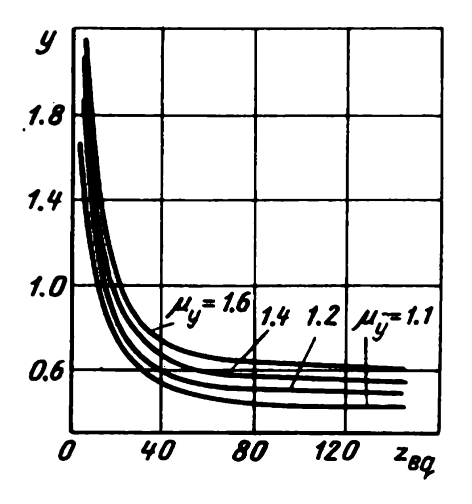
γ - معامل شكل السنة (الشكل ١٥ - ٣١)، ويختار حسب العدد المكافئ لاسنان العجلة (15.47) بالنسبة لترس عدد

اسنانه المكافئة $z_{1\,eq}$ = ٤٠ ، وبالنسبة لقيمة المعامل μ_T (الشكل ١٥ - ٣٢) الذى يعتمد على الجزء الكسر من معامل التغطية v وزاوية ميل الانسان β_p .

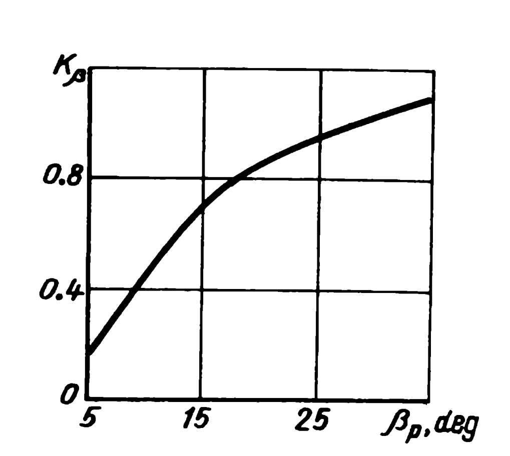
k_d - معامل الحمل الديناميكى ويختار تبعا للسرعة المحيطيـــة v (حتى ١٢ مترا/الثانية) ودرجة الدقة فى الشكل (من H = ١ الى H = ٤)

$$k_d = 1 + \frac{H + 3}{120} v$$

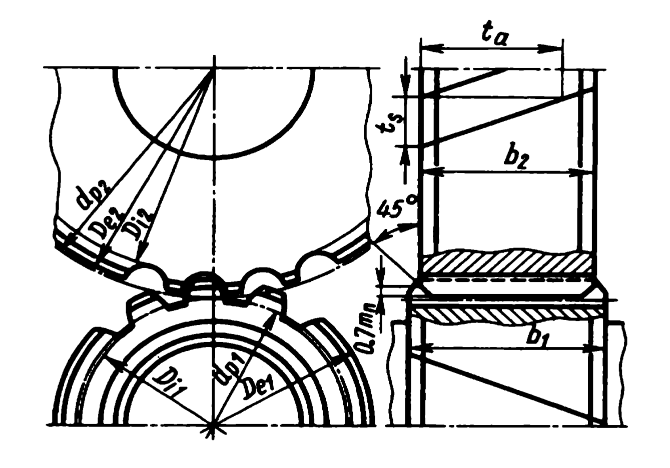
$[\sigma]_b$ - الاجهاد المسموح به عند حساب الكسر (انظر ص ٢٨٧).



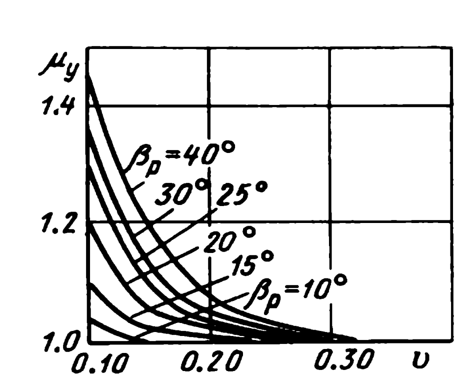
الشكل ١٥ - ٣١



الشكل ١٥ - ٣٠



الشكل ١٥ - ٣٣



الشكل ١٥ - ٣٢

<u>حساب الابعاد الهندسية الاساسية.</u> من نتائج حســـابـــات المتانة تحسب الابعاد الاساسية للعجلات (الشكل ١٥ - ٣٣) من الصيغ الواردة فى الجدول (١٥ - ١١).

الجدول ١٥ - ١١

صيغ تعيين الابعاد الاساسية لوسيلة نقل الحركة ذات التعشيق من طراز نوفيكوف

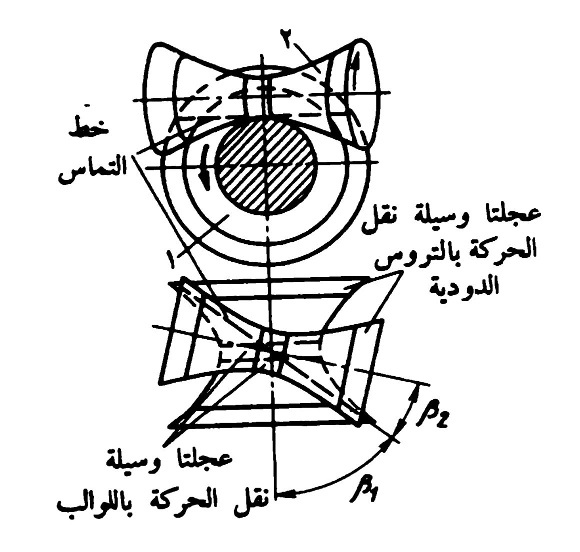
عناصر التعشيق	الصيغ
المود يول الطرفى	$m_s = \frac{m_n}{\cos \beta_p}$
قطر دائرة الخطوة للترس القائد (1) والعجلة (2)	$d_{p\,1,2} = m_s z_{1,2}$
المسافة بين المحورين	$A = \frac{m_n (z_1 + z_2)}{2 \cos \beta_p}$
ارتفاع رأس السنة المحدبة (con- x) ، والمقعرة (con-ve)	$h'_{\text{con-x}} = 1.15 m_n;\ h'_{\text{con-ve}} = 0.15 m_n$
ولوسيلة نقل الحركة ذات خطى التعشيق .	$h' = 0.9\, m_n$
ارتفاع ساق السنة المحدبة (con-x) ، والمقعرة (con-ve)	$h''_{\text{con-x}} = 0.25 m_n;\ h''_{\text{con-ve}} = 1.3 m_n$
ولوسيلة نقل الحركة ذات خطى التعشيق	$h'' = f m_n;\quad f = 1.04575$ 1.04335, 1.04089 for $m_n \leqslant 3.15$ for $m_n > 3.15 \leqslant 6.3$, and for $m_n > 6.3 \leqslant 10$ mm
قطر دائرة نتوءات الترس القائد والعجلة المسننة	$D_{e1} = d_{p1} + 2h'$ $D_{e2} = d_{p2} + 2h'$
قطر دائرة منخفضات الترس القائد والعجلة المسننة	$D_{i1} = d_{p1} - 2h''$ $D_{i2} = d_{p2} - 2h''$
الخطوة المحورية	$t_a = \frac{\pi m_n}{\sin \beta_p}$
عرض الحافة المسننة للعجلة المنقادة وللترس القائد	$b_2 = \varepsilon_a t_a$ $b_1 = b_2 + (0.4 \div 1.5) m_n$

الباب السادس عشر

وسائل نقل الحركة باللولب والتروس الهيبودية

معلومات عامة

التركيب . تستخدم وسائل نقل الحركة باللولب والتروس الهيبودية لنقل عزم اللى بين عمودين محوريهما خطين شماليين . وكما هو معلوم من منهج نظرية الماكينات، فان سطحى دوران القطعين الزائدين بالطية الواحدة (single sheet hyperboloides) (١ ، ٢ (الشكل ١٦ - ١) يعتبران المحلات الهندسية للحركة النسبية فى هذه الحالة . واذا قطعنا على القطعين الزائدين الدورانيين أسنانا بخطوتين عموديتين متساويتين ، نحصل على وسيلة نقل الحركة تضمن نسبة ثابتة لنقل السرعة. وعمليا يستخدم جزء ضيّق من سطحى القطعين الزائدين الدورانيين الابتدائيين ، يحل محل السطحين الاسطوانيين أو المخروطيين . ونتيجة لهذا يحدث تماس فى نقطة بين الاسنان المقترنة بدلا من التماس الخطى بينهما .



الشكل ١٦ - ١

والزاوية بين المحورين الشماليين للعمودين فى وسائل نقل الحركة تلك يمكن أن تكون بأية قيمة، ولكن يغلب استخدام وسائل نقل الحركة ذات الزاوية القائمة بين المحورين الشماليين أى $\delta = 90^\circ$. وتعتمد نسبة نقل السرعات ليس على قطرى دائرتى الاساس وحدهما ، بل أيضا على زوايا ميل الاسنان β_1 و β_2 . وحيث أن الموديولات العمودية لعجلات التعشيق يجب أن تكون متساوية، فعلى أساس الصيغة الاولى فى جدول ١٥ - ١٠ نحصل على :

$$i = \frac{z_2}{z_1} = \frac{d_{p2} \cos \beta_2}{d_{p1} \cos \beta_1} = \frac{d_{p2}}{d_{p1}} \tan \beta_1 \qquad (16.1)$$

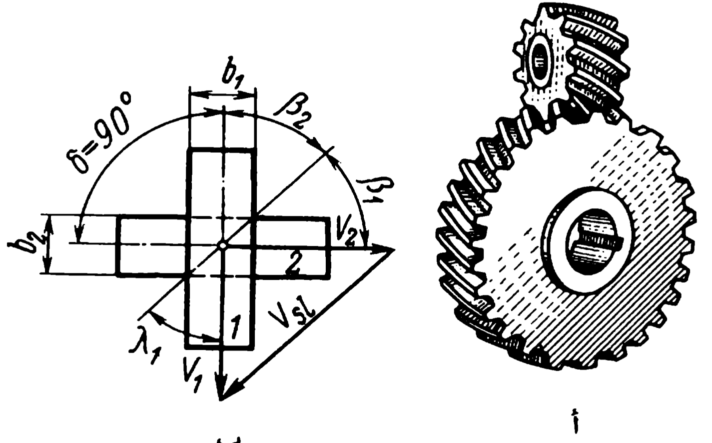
وبناء على ذلك يمكن توفير نسبة نقل السرعات المعطية أيضا عن طريق تغيير زاويتى ميل الاسنان .

المزايا والعيوب . يعتبر تشغيل وسائل نقل الحركة باللولب والتروس الهيبودية بدون ضجيج الذى يضمن بغضل ارتفاع نعومة التعشيق، يعتبر ميزة لهذه الوسائل .

وعيب الوسائل موضع الحديث هو التلامس فى نقطة والانزلاق النسبى بين الاسنان على طول المماس المشترك بينهما . ونتيجة لهذا فان كفاءة أداء تلك الوسائل أقل من كفاءة وسائل نقل الحركة بالتروس الاسطوانية والمخروطية، أما ميل الاولى الى العض فهو اكبر.

وسائل نقل الحركة باللولب

خصائص وسيلة نقل الحركة: اذا استخدم الجزء الاوسط (العنق) من قطعين زائدين دورانيين متقارنين كسطح ابتدائى لعجلتين مسننتين ، لحصلنا على وسيلة نقل الحركة باللولب الهيبودى (الشكل ١٦ - ٢، أ). وفى هذه الحالة ستكون العجلتان المسننتان المكونتان لوسيلة نقل الحركة باللولب هما اسطوانيتين ذاتى أسنان مائلة بزاويتى ميل مقدارهما β_1 ، β_2 على الاسطوانتين المعنيتين. وعندما تكون الزاوية بين المحورين δ = ٩٠° ، تكون سرعة انزلاق الاسنان (الشكل ١٦- ٢، ب)



الشكل ١٦ - ٢

$$v_{sl} = \frac{v_1}{\cos\lambda_1} = \frac{\pi d_1 n_1}{60 \times 1000 \cos\lambda_1} \text{ m/sec} \quad (16.2)$$

ونتيجة لكون التماس بين الاسنان تماس فى نقطة، فان القدرة المنقولة لا تزيد عن بضعة كيلووات. ولذلك لم تحصل مثل هذه الوسائل على الانتشار . فهى تستخدم اكثر ما كوسائل حركة "كينيماتيكية" عندما تكون قيم نسبة نقل السرع $i \leqslant 5$.

ويجب أن تكون مواد عجلات وسائل نقل الحركة باللولب تتمتع بخواص مضادة للاحتكاك جيدة بدرجة كافية. ويتوفر هذا الشرط على أحسن وجه عندما يجمع بين : التكستوليت والحديد الزهر، والتكستوليت والصلب المقسى، والحديد الزهر والبرونز. واذا كان يلزم نقل أحمال كبيرة نسبيا، يمكن أن تصنع كلتا العجلتين من الصلب المقسى مع استخدام زيت تزييت مضاد للعض.

وأخطر أنواع الاعطاب فى أسنان عجلات وسيلة نقل الحركة باللولب هو العض. ولكى يتم تلافيه يلزم لتزييت وسيلة نقل الحركة استخدام زيوت عالية اللزوجة ؛ وتعطى الزيوت الخاصة المضادة للعض أحسن النتائج.

الحساب. لتعيين القوى المؤثرة على وسيلة نقل الحركة باللولب ، يجب استخدام الصيغ (انظر ص ٢٩١) الواردة للعجلات ذات الاسنان

المائلة . وعندما يعطى عزم اللى ، يمكن من الصيغة (14.50) ايجاد القوة العمودية P_n .

يجرى حساب متانة أسنان وسائل نقل الحركة باللولب حسب الصيغة التجريبية التى تحدد القوة القصوى المسموح بها والعمودية على الاسنان من شرط تلافى العض :

$$P_n = d_{p1}^2 \; k_i \; k_v \; [\sigma] \qquad (16.3)$$

حيث $k_i = \frac{2i}{i + \tan \beta_i}$ - معامل نسبة نقل السرعة ؛

$k_v = \frac{1 + 0.5 v_{sl}}{1 + v_{sl}}$ - معامل سرعة الانزلاق ؛

$[\sigma]$ - اجهاد التماس الافتراضى الذى يحدد من الجدول ١٦-١.

الجدول ١٦ - ١

قيم اجهادات التماس الافتراضية

مواد العجلات	$[\sigma]$ بالكجم/سم٢ مع اجراء تنعيم الزوج	
	لمدة قصيرة	التنعيم الشديد
صلب (Rc ≽ ٥٠)- برونز	٣٥ر٠	٨٤ر٠
صلب (Rc ≽ ٥٠)- صلب (Rc ≽ ٥٠)	٤٠ر٠	٠٥ر١
حديد زهر - حديد زهر أو برونز	٥٥ر٠	٤٠ر١
تكستوليت - حديد زهر أو برونز (Rc ≽ ٥٠)	٧٠ر٠	٧٥ر١

وعند اجراء الحساب التصميمى بالصيغة (16.3) يحدد القطر d_{p1} مع فرض معامل السرعة k_v = ٧ر٠ — ٥ر٠ ، وزاويتى ميل الاسنان β_1 ، β_2 . وأعلى كفاءة أداء يتم الحصول عليها عندما تكون $\beta_1 \approx \beta_2$. ولتوفير نعومة عالية فى أداء العجلتين يوصى باختيار الترس القائد بعدد أسنان اكبر من ٢٠ .

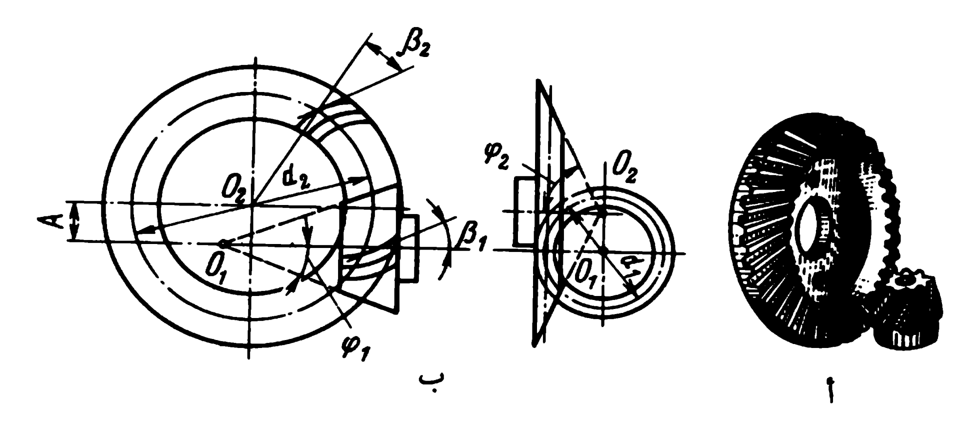
ومتانة الاسنان فى الثنى يمكن مراجعتها من الصيغ الواردة للعجلات ذات الاسنان المائلة . وبعد تعيين مقدار المودول العمودى m_n ، تحدد أبعاد العجلتين بمساعدة صيغ حساب العجلات ذات الاسنان المائلة ، والمسافة بين المحورين (انظر ص ٣٠) وعرض العجلتين :

$$b_{1,2} = 3 \pi \; m_n \; \sin \beta_{1,2} \qquad (16.4)$$

وسائل نقل الحركة بالتروس الهيبودية

خصائص وسيلة نقل الحركة . اذا ما استعمل كسطح ابتدائــى للعجلات المسننة جزء من القطع الزائد الدورانى بعيد عن منتصفه (عنقه) ، نحصل على وسيلة نقل الحركة بالتروس الهيبودية.

ووسائل نقل الحركة الهيبودية ذات الزاوية بين المحورين المساوية لـ ٩٠° (الشكل ١٦ - ٣، أ) أوسع انتشارا من وسائل نقل الحركة باللولب، وهى تستخدم للقدرات التى تعد بعشرات الكيلووات كما تستخدم فى نقل الحركة الى المحاور الخلفية فى السيارات وفــى



الشكل ١٦ - ٣

بعض ماكينات الغزل والنسيج وغيرها . وفى الحالات عندما تكون نسبة نقل السرعات غير كبيرة يمكن لوسيلة نقل الحركة بالتروس الهيبودية (وهى فى أغلب الاحيان ذات تروس من الصلب)، أن تحل محــل وسيلة نقل الحركة بالتروس الدودية، التى تعتبر أغلى فى تكاليف صنعها والتى تصنع من المعادن غير الحديدية (انظر ص ٣٢٥).

وبسبب أن زوايا ميل الاسنان فى العجلة المسننة β_2 ، وفــى الترس β_1 مختلفتان، وفى العادة تكون $\beta_2 < \beta_1$ ، فان الموديول الطرفى فى الترس يكون اكبر من نظيره للعجلة المسننة. لذلــك فعندما يتساوى قطرا العجلتين ونسبتا نقل السرعة فى كل مــن وسيلتى نقل الحركة بالتروس المخروطية والتروس الهيبودية، يكون قطر الترس القائد فى الاخيرة اكبر من نظيره فى الاولى، وبناء على ذلك تكون اكثر متانة، وعلاوة على ذلك فيمكن زيادة قطر عمودها مما يزيد الجساءة ويساعد على تحسين ظروف عمل وسيلة الحركة. وبفضــل هذا فان وسيلة نقل الحركة بالتروس الهيبودية عندما يختار لهــا زيت التزييت المناسب (لتلافى العض) يمكنها أن تنقل حملا اكبر من وسيلة نقل الحركة بالتروس المخروطية ذات نفس نسبة نقل السرعة.

وتؤثر تأثيرا طيبا على نعومة التشغيل، زيادة زاوية الميل β_1 . الا أنه عندما تزداد زيادة كبيرة، تنخفض كفاءة أداء الوسيلة، لذلــك

فان زاوية ميل الاسنان فى الترس القائد تؤخذ بما لا يزيد عن β_1 = ٥٠° ؛ وفى المعتاد عندما تكون $z_1 \geqslant$ ١٣ ، تكون β_1 = ٥٠°
وعندما تكون z_1 = ١٤ ، و ١٥ ، تكون β_1 = ٤٥° ، ولـ $z_1 \geqslant$ ١٦ ، β_1 = ٤٠° ؛ وللعجلات المسننة β_2 = ٣٠°—٣٥° .

وسبب خروج وسيلة نقل الحركة بالتروس الهيبودية عن نطاق صلاحية استمرار التشغيل يعتبر العض، والتفتت أو كسر الاسنان . ولتلافى العض يجب زيادة نعومة وصلادة أسطح الاسنان واستخدام الزيوت المضادة للعض.

وانزلاق الاسنان المعشقة فى وسيلة نقل الحركة بالتروس الهيبودية، مثله مثل حالة نقل الحركة باللولب، فى الاتجاه العمودى يؤثر كثيرا على مقدرة الوسيلة على التحميل : فمع زيادة سرعة الانزلاق تزيد خطورة وقوع العض . والانزلاق على طول الاسنان يكون ملموسا اكثر، كلما زادت المسافة بين المحورين A (الشكل ١٦ - ٣ ، ب) ، لذلك فان البعد A يقيد بهدف تلافى العض: فبالنسبة لـ i = ١ — ٥ر٢ تؤخذ $A \leqslant$ (٣٣ر٠ — ٢٣ر٠) d_2 ، ولـ $i >$ ٥ر٢ تؤخذ $A \leqslant$ ٢ر٠ d_2 .

الحساب . يمكن تعيين القوى المؤثرة فى وسيلة نقل الحركة بالتروس الهيبودية بالصيغة الخاصة بوسائل نقل الحركة بالتروس المخروطية ذات الاسنان المائلة (انظر ص ٣٠٠) اذا ما عوضنا عن الزاوية β_c بالزاوية β_1 للترس القائد ، والزاوية β_2 للترس المنقاد ، وعوضنا عن القوة المحيطية P بالقوة المحيطية P_1 للترس القائد ، والقوة P_2 للترس المنقاد (اذ أن القوتين غير متساويتين حيث أن $\beta_1 \neq \beta_2$).

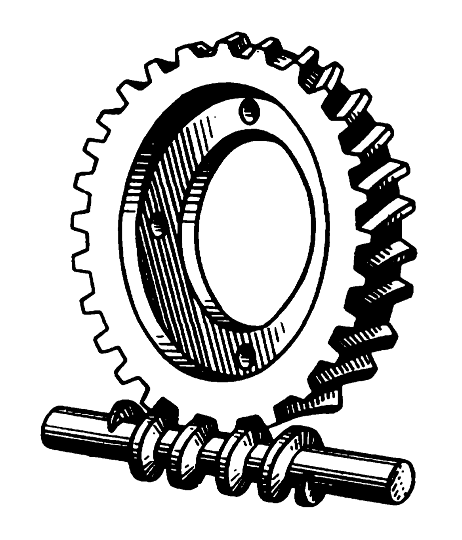
وأبعاد العجلات المسننة ووسيلة نقل الحركة ككل تحدد من حساب متانة الاسطح العاملة فى الاسنان لتلافى كسر الاسنان أيضا . ويمكن اجراء الحساب التقريبى بالصيغ الخاصة بوسائل نقل الحركة بالتروس المخروطية . والاجهادات المسموح بها تؤخذ مطابقة للاجهادات المسموح بها للعجلات المسننة من الانواع الاخرى .

الباب السابع عشر

وسائل نقل الحركة بالتروس الدودية

معلومات عامة

التركيب . تستخدم وسائل نقل الحركة بالتروس الدودية (الشكل ١٧-١) في حالات عندما يكون محورا الترس القائد والعجلة المنقادة خطين شماليين (وفى العادة متعامدين)، ويمكن بحثها كحالة خاصة من حالات وسائل نقل الحركة باللولب مع اختلافها عن الاخيرة فى أن عدد الاسنان (الابواب) فى الترس القائد - الدودة هو عدد قليل، أما التماس بين الاسنان فيحدث لا فى نقط بل فى خطوط تماس. والميزة الاخيرة يتم التوصل اليها بواسطة أن الاسنان فى العجلة الدودية تفتح حسب طريقة الدلغنة (التغليف enveloping) بواسطة سكينة تفريز دودية لها نفس أبعاد عناصر التعشيق كما فى الدودة التى سوف تعمل معها العجلة الدودية الزوج المذكور. وهذه الحالة تجعل استخدام دودات بأسنان مختلفة الاشكال ممكنا.



الشكل ١٧ - ١

وحتى لحظة انتهاء تفتيح أسنان العجلة الدودية يجب أن تصل المسافة بين محور العجلة ومحور سكينة التفريز الدودية، الى نفس قيمة المسافة بين محورى وسيلة نقل الحركة. ولزيادة طول خطوط التماس يصنع السطح الخارجى للعجلة الدودية سطحا مقعرا بحيث يلتف حول الدودة فى حدود الزاوية $2\gamma = 100°$ (انظر الشكل ١٧ - ١٠).

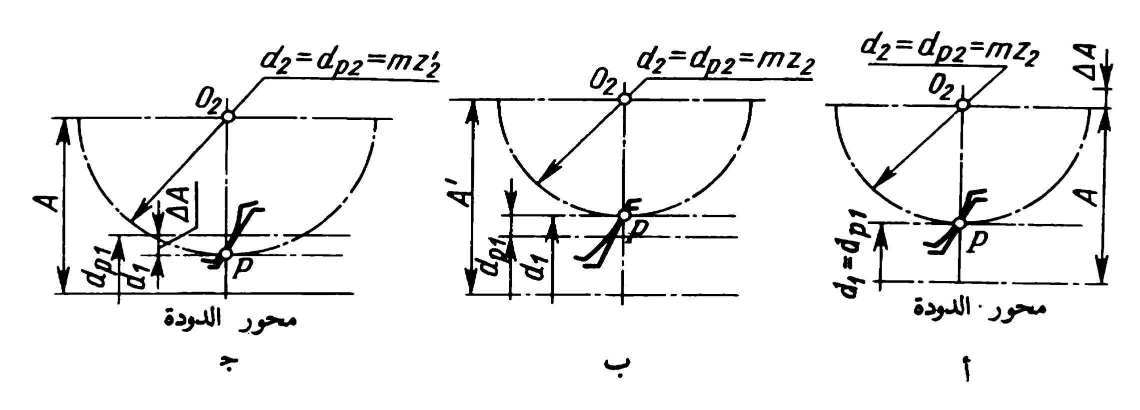
وكما هو الحال فى وسائل نقل الحركة بالتروس، يعتبر الموديول المتغير الاساس للتعشيق ويؤخذ هنا بحيث يكون الموديول الطرفى للعجلة المسننة m مساويا الموديول المحورى للدودة. والصيغ التى تربط بين أبعاد العجلة الدودية وبين الموديول مماثلة للصيغ المستخدمة بالنسبة للتروس. وقطر دائرة الخطوة فى الدودة يؤخذ أضعافا لموديول الدودة :

$$d_{p1} = qm , \qquad (17.1)$$

حيث q - عدد الموديولات (المحورية للدودة) فى قطر دائرة الخطوة فى الاسطوانة (وهو العدد التخيلى للاسنان على الدودة).

وحيث أن تفتيح الاسنان على العجلة الدودية يتم بطريقة الدلغنة، فان العجلة يمكن تعديلها بنفس الطريقة المتبعة فى العجلات المسننة الاسطوانية: بانحراف العدة القاطعة عند تفتيح الاسنان. الا أنه فى وسيلة نقل الحركة بالتروس الدودية يمكن تعديل العجلة المسننة فقط حيث أن متغيرات سكينة التفريز، وبالتالى الدودة أيضا تبقى بدون تغيير. ويمكن تحقيق التعديل ليس فقط بواسطة ازاحة سكينة الفريزة، ولكن أيضا عن طريق تغيير السرعة النسبية لدوران الفريزة والعجلة بدون تغيير المسافة بين محوريهما وذلك بفرض تقليل تنوع العدد القاطعة الخاصة بتفتيح أسنان العجلة وللمحافظة على أبعاد وسيلة نقل الحركة . وعند ذلك يتغير عدد أسنان العجلة وبناء على ذلك نسبة نقل السرعة أيضا .

وفى الشكل (١٧ - ٢) ثلاثة وسائل نقل الحركة بالتروس الدودية لها دودة واحدة : أ- غير معدلة وذات عدد أسنان لعجلتها



الشكل ١٧ - ٢

يساوى z_2 ؛ ب - معدلة وذات ازاحة موجبة للدودة مع ثبات عدد أسنان العجلة، وبالتالى مع ثبات نسبة نقل السرعة ؛ ج - معدلة نتيجة تغيير السرعة النسبية للعجلة المنقادة عند فتح أسنانها (المسافة بين المحورين هى نفسها فى حالة وسيلة نقل الحركة غير المعدلة)، ولهذا السبب أصبح عدد أسنان العجلة المسننة $z_2' > z_2$ ، وبالتالى زادت نسبة نقل السرعة.

وعندما يكون انحراف سكينة التفريز يساوى $\xi m'$ ، تصبح المسافة بين المحورين

$$A' = 0.5(d_{p2} + d_{p1} + 2\xi m)$$

وللحصول على وسيلة نقل الحركة لها نفس نسبة نقل السرعة وبدون تغيير المسافة بين المحورين يجب مراعاة الشرط التالى :

$$A = A' = 0.5\, m(z_2 + q) = 0.5m'(z_2' + q' + 2\xi)$$

وبناء على هذا الشرط ، يوصى بالجمع بين المتغيرات الاساسية

z_1 , z_2 , q , m, ξ بحيث يضمن الحصول على نسب سرعة مختلفة باستخدام المسافات بين المحورين القياسية.

المزايا والعيوب . تستخدم وسائل نقل الحركة بالتروس الدودية فى حالة وجود أحمال فى حدود بضعة عشرات من الكيلوواات (وفى النادر بما يصل الى ١٠٠ - ٢٠٠ كيلوواات، والنسب الكبيرة لنقل السرعة، مثلا فى نقل الحركة من محرك كهربى الى المحاور القائدة فى مركبات الترولليباس، وفى ماكينات تفتيح التروس، وفى المرفاعات ذات البكرات بأنواعها المختلفة، وفى الآليات المساعدة فى معدات الدلفنة ... الخ . ونسب نقل السرعة المعتادة فى وسائل نقل الحركة بالتروس الدودية هى فى حدود i = ١٠ ÷ ٨٠ . كما وتوجد وسائل نقل الحركة بالتروس الدودية لها نسب نقل السرعة كبيرة للغاية، فى حدود ٥٠٠ ÷ ١٠٠٠ الا أن القدرة المنقولة فى هذه الحالة تكون صغيرة .

مزايا وسائل نقل الحركة بالتروس الدودية: أ- صغر الحجم - امكانية الحصول على نسب كبيرة لنقل السرعة بأبعاد غير كبيرة نسبيا ؛ ب - التشغيل بدون ضجيج ؛ جـ - وجود أمان فى استعمالها مع بساطة الخدمة ؛ د - امكانية التوقيف الذاتى . (الدودات غير العاكسة) .

وعيوبها هى : أ - الفقد الكبير فى القدرة ؛ ب - ضرورة استخدام برونز عالى الجودة ؛ جـ- ضرورة استخدام عدد قاطعة باهظة التكاليف. وانخفاض كفاءة ادائها لا يسمح باستخدامها لنقل الاحمال الكبرى .

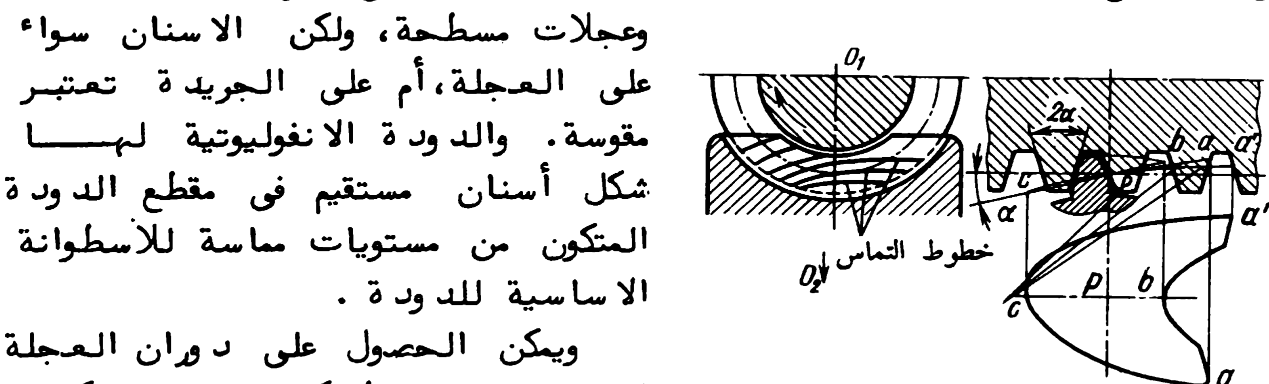
تقسيمها . تقسم وسائل نقل الحركة بالتروس الدودية حسب شكل الجسم الابتدائى للدودة - اسطوانية، وشبه كروية (انظر ص ٣٤٠) ؛ وحسب شكل أسنان الدودات - بأسنان أرخميديس، وكونفوليوتية، وانفوليوتية، ذات الشكل المقعر ؛ وحسب وضع الدودة بالنسبة للعجلة الدودية - ذات الوضع السفلى ، والعلوى ، والجانبى للدودة ؛ وحسب الصياغة التصميمية للجسم - الوسائل المكشوفة والمغلقة ؛ وحسب دقة التصنيع - وسائل نقل الحركة ذات ١٢ درجة من الدقة؛ وحسب الاستعمال - ناقلة للقدرة بدون تنظيم للوضع النسبى بين الدودة وعجلتها ، وكينيماتيكية ذات تنظيم للوضع النسبى .

والتماس بين أسطح أسنان العجلة المسننة وأسنان الدودة يكون اكثر كمالا فى حالة الدودات الانفوليوتية ، الا أن الدودات ذات الاسنان الارخميدية اكثر بساطة فى تصنيعها من تلك ذات الاسنان الانفوليوتية.

اسس نظرية وعمل وسيلة نقل الحركة

عملية نقل الحمل فى التعشيق . فى مقاطع وسيلة نقل الحركة بالتروس الدودية ذات الاسنان الارخميدية بالمستوى المتوسط المار بمحور الدودة، تعتبر الصورة الهندسية للتعشيق مماثلة للتعشيق بين

الاسنان الانفوليوتية لعجلة مسننة وبين جريدة مسننة مستقيمة الجوانب، التى يكون لأسنانها عند الدوران زاوية $2\alpha = 40^\circ$ (الشكل ١٧ - ٣) . وفى المقاطع الموازية لهذا المستوى، نحصل أيضا على جرائد مسننة وعجلات مسطحة، ولكن الاسنان سواء على العجلة، أم على الجريدة تعتبر مقوسة. والدودة الانفوليوتية لها شكل أسنان مستقيم فى مقطع الدودة المتكون من مستويات مماسة للأسطوانة الاساسية للدودة .



الشكل ١٧ - ٣ .

ويمكن الحصول على دوران العجلة الدودية ليس فقط كنتيجة للحركة الدورانية للدودة، ولكن أيضا كنتيجة لتعشيق العجلة مع مجمع الجرائد المسننة المشار اليها والمتحركة حركة خطية ؛ وتعشيق عناصر وسيلة نقل الحركة بالدودات فى هذه المقاطع مماثلة للتعشيق فى الجرائد المسننة. ففى كل مقطع يوجد خطوط للتعشيق (مثلا الخط cb)، تعتبر فى مجموع التعشيق بين أسنان العجلة وأسنان الدودة، فى حد ذاتها خطوطا للتماس ؛ ومجموع خطوط التماس على سطح التعشيق يعتبر حقل التعشيق (مجال التعشيق) (يوضح الشكل ١٧ - ٣ المسقط الافقى لحقل التعشيق $aca'b$) .

وعلى السطح العامل لاسنان العجلة الدودية، تأخذ خطوط التماس شكلا مقوسا ، وكذلك فان مقدارها ووضعها يختلفان فى عملية التعشيق كما فى حالة وسيلة نقل الحركة بالتروس ذات الاسنان المائلة. وتصنع سنة الدودة بالنسبة لسنة العجلة الدودية حركتين : على طول السنة (مثل حركة اللولب بالنسبة للصامولة)، وعلى طول شكل السنة (مثل حركة أسنان الجريدة المسننة بالنسبة لأسنان العجلة المسننة) . ونتيجة لذلك يتم التوصل الى نعومة عالية فى نقل الحركة الدورانية .

وسرعة الانزلاق فى وسيلة نقل الحركة بالتروس الدودية تعين بالصيغة (16.2) عندما يكون

$$d_{p1} = mq\ , \quad \cos\lambda_1 = \frac{\pi mq}{\sqrt{(\pi d_{p1})^2 + (\pi z_1 m)^2}}$$

$$v_{se} = \frac{mn_1}{19.100}\sqrt{z_1^2 + q^2}\ \text{m/sec}\ , \qquad (17.2)$$

حيث m ـ الموديول بالمم ؛

n_1 ـ عدد لفات الدودة فى الدقيقة.

والاحمال من الدودة تتلقاها دوريا سنة واحدة أو سنتان . ولكن بسبب الجساءة العالية لاسنان الدودة والجساءة المرتفعة لاسنان العجلة، فان تأثير أخطاء التعشيق على توزيع الحمل بين الاسنان يكون هنا اكبر من حالة وسيلة نقل الحركة بالتروس، ولهذا السبب فان كل الحمل عمليا تنقله سنة واحدة .

الجدول ١٧ - ١

القيم الارشادية للزوجة الكينيماتيكية للزيت ν لوسائل نقل الحركة بالدودات

سرعة الانزلاق v_{sl} متر/الثانية	ν بالسنتيستوك عند ٥٠° م (١٠٠° م)	وسيلة التزييت
١*	٤٥٠ (٥٥)	بالغمس
٢٫٥*	٣٠٠ (٣٥)	
٥**	١٨٠ (٢٠)	
٥ - ١٠	١٢٠ (١٢)	بالضخ أو الغمس
١٠ - ١٥	٨٠	بالضخ تحت ضغط
١٥ - ٢٥	٦٠	

* ظروف عمل صعبة .

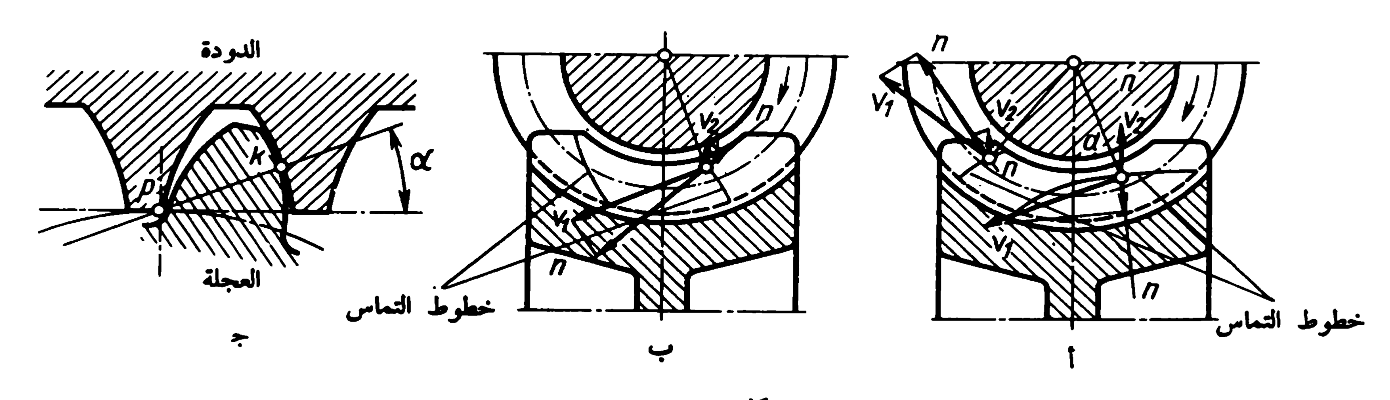
** ظروف عمل متوسطة

التزييت، والفاقد ، وكفاءة الاداء . يعتبر دور التزييت فى وسيلة نقل الحركة بالدودات اكثر أهمية من دوره فى وسائل نقل الحركة بالتروس، حيث أنه يحدث فى التعشيق انزلاق لأسنان الدودة بالنسبة لاسنان العجلة الدودية. وفى حالة عدم كفاية التزييت تزيد بشدة الفواقد فى التعشيق، ويحتمل أيضا الحاق الاضرار بالاسنان. وبهدف تقليل الفاقد فى الاحتكاك يلزم منع التماس المباشر بين أسنان العجلة والدودة أى يلزم تكوين اسفين (wedge) من الزيت، يكون قادرا على تحمل الضغط بين الدودة والعجلة المسننة. ولدرجة حرارة الهواء المحيط t_2 = ٢٠° ، ودرجة الحرارة المتوسطة لحمام الزيت t_1 = ٧٠°، بتضمن الجدول ١٧ - ١ معلومات مقترحة عن لزوجة الزيت وطريقة التزييت . وبهدف رفع الخصائص المضادة للعض بالنسبة لزيت التزييت يجب اضافة ٣٪ - ١٠ ٪ من الزيوت النباتية أو الدهون الحيوانية

الى الزيت المعدنى . وفى وسائل نقل الحركة ذات العجلات البرونزية يحظر استعمال زيوت قوية مضادة للعض تجنبا لتأكل البرونز بالصدأ.

وعلاوة على نوع زيت التزييت يؤثر تأثيرا ملموسا على ثبات اسفين الزيت الشكل الهندسى للتعشيق، بالنسبة لوضع خطوط التماس ومنتجهات سرعات الانزلاق.

ومقدرة اسفين الزيت على الحمل، ذلك الاسفين المتكون بين أسنان الدودة وأسنان عجلتها المسننة تعتمد على مقدار مسقط سرعات نقط التماس بين سنة الدودة وسنة العجلة فى اتجاه الاعمدة على خط التماس، وعلى شكل الاسطح المتلامسة: فكلما كان مجموع مساقط السرعات هذه اكبر، وكلما كان تقوس اسطح التلامس أقل فى موضع التلامس، كانت ظروف تكون اسفين الزيت أفضل ، وكانت مقدرته على الحمل اكبر.



الشكل ١٧ - ٤

والشكل ١٧ - ٤، أ يمثل أوضاع خطوط التماس من وسيلة نقل الحركة بالتروس الدودية فى طورين من أطوار التعشيق واتجاهات سرعات بعض نقط الدودة والسنة الواقعة على خطوط التماس هذه. وكما يظهر أن مجموع مساقط السرعات المذكورة غير متساو : فأقلها (القريب من الصفر) - يوجد فى منطقة a بالقرب من وسط المستوى ، واكبرها - يوجد عند طرفى السنة من جهة خروج الدودة من التعشيق. ولذلك ففى المنطقة a تحت شروط اضافية يحتمل حدوث اختلال فى الطبقة الزيتية الرقيقة مما يحد من مقدرة الحمل لوسيلة نقل الحركة.

وأحد سبل رفع الضغط فى الاسفين الزيتى ، وبالتالى زيادة مقدرة الحمل فى وسيلة نقل الحركة، يعتبر تغيير هندسة التعشيق. وبالذات فالدودات ذات الاشكال المقعرة المرسومة على سبيل المثال على قوس من دائرة ، فى المقطع المحورى أو العمودى، تصنع مع أسنان العجلات خطوط تماس واقعة بزوايا ميل كبيرة على متجهات السرعات المحيطية للدودة (الشكل ١٧ - ٤، ب). وعلاوة على ذلك فان الاجهاد فى موضع التماس يصبح أقل بفضل تماس الشكل المحدب لسنة العجلة مع الشكل مقعر لسنة الدودة (الشكل ١٧ - ٤، ج).

والفاقد فى التعشيق الدودى سببه فى الاساس انزلاق أسنان

الدودة بالنسبة لأسنان العجلة. وكفاءة الاداء المناظرة التى تدخل فى اعتبارها الانزلاق على طول الاسنان، يمكن أن تحدد بالتقريب كما بالنسبة لزوج اللولب - الصامولة حسب الصيغة الواردة فى منهج نظرية الماكينات

$$\eta = \frac{\tan \lambda}{\tan(\lambda + \rho)} , \qquad (17.3)$$

حيث λ - زاوية تقدم سنة الدودة ؛
ρ - زاوية الاحتكاك التى تعتمد على المواد المصنوعة منها عناصر التعشيق فى الزوج، وكفاءة الاسطح، والتزييت، وسرعة الانزلاق.

ولمادتى الزوج الدودة - العجلة تأثير ملموس على مقدار ρ. ويظهر أن الفاقد فى حالة الدودة المصنوعة من الصلب والمقساة بالتقسية الاسمنتية والمصقولة، والعجلة ذات الحافة المصنوعة من البرونز القصديرى الفسفورى، هو أقل الفواقد . ويحدث الفواقد القليلة أيضا فى حالة تزييت الوسيلة بزيوت على أساس من زيت الخروج (اذ تساعد على تقليل معامل الاحتكاك)، أما الفواقد الكبيرة فتنتج فى حالة التزييت بالزيوت المعدنية. وزيادة سرعة الانزلاق تشجع تكون اسفين الزيت، وتتحسن ظروف التزييت، ويقل الاحتكاك فى التعشيق، وتهبط قيمة ρ.

وبالنسبة لوسائل نقل الحركة ذات العجلات المصنوعة من الحديد الزهر والدودات المصنوعة من الصلب يمكن اعتبار أن ρ = ٣°٣٠′ ÷ ٦° درجات . والقيم الأقل يجب اختيارها لسرعة الانزلاق الاعلى من ١ - ٢ متر فى الثانية. وبالنسبة لوسائل نقل الحزكة ذات العجلات الدودية المصنوعة من البرونز، والدودات المصنوعة من الصلب، تستنتج المعطيات عن ρ من التجارب المجراة على وسائل دودية للحركة ذات كراسى محاور تدحرج (جدول رقم ١٧ - ٢). ونتائج التجارب التى أدخل فى اعتبارها الفاقد فى التعشيق وكراسى المحاور، معالجة بالصيغة (17.3) لذلك فان قيمة ρ هى قيمة افتراضية. والقيم الاقل لـ ρ يمكن استخدامها للدورات المقساة اسمنتيا، والمجلخة والمصقولة مع وفرة التزييت بزيت لزج .

الجدول ١٧ - ٢

قيم زوايا الاحتكاك ρ

v_{sl} m/sec	ρ	v_{sl} m/sec	ρ
٠ر١	٤°٣٠′ - ٥°١٠′	٥ر٢	١°٤٠′ - ٢°٢٠′
٠ر٥	٣°١٠′ - ٣°٤٠′	٣	١°٣٠′ - ٢°٠٠′
١ر٠	٢°٣٠′ - ٣°١٠′	٤	١°٢٠′ - ١°٤٠′
١ر٥	٢°٢٠′ - ٢°٥٠′	٧	١°٠٠′ - ١°٣٠′
٢ر٠	٢°٠٠′ - ٢°٣٠′	١	٠°٥٥′ - ١°٢٠′

والفاقد فى رش الزيت (عندما تكون العجلة مغمورة فى الزيت) يمكن تعيينه من الصيغة التجريبية

$$N_{l\,ch} = 0.75 \times 10^{-5} v_2 b \sqrt{\nu v_2} \; kW , \tag{17.4}$$

حيث v_2 ـ السرعة المحيطية للعجلة بالمتر/ الثانية؛
b ـ عرض العجلة بالسم ؛
ν ـ اللزوجة الكينيماتيكية للزيت بالسنتيستوك عند درجة حرارة الزيت t° فى حوض الزيت .
واذا كانت الدودة مغمورة فى الزيت، فانه بدلا من b يلزم التعويض بطول الجزء المقطوع فيه اسنان من الدودة l بالسم، وبدلا من v_2 ـ السرعة v_1 المحيطية للدودة.
وبناء على ما سبق ذكره فان كفاءة أداء وسيلة نقل الحركة يمكن تصورها على الوجه التالى

$$\eta = \frac{\tan \lambda}{\tan(\lambda + \rho)} \left(\frac{N}{N + N_{l\,ch}} \right), \tag{17.5}$$

حيث N ـ القدرة فى العجلة بالكيلووات .
ويمكن بالتقريب اعتبار أنه عندما تكون $z_1 = 1$ ، $\eta \approx$ ٠ر٧٠ــ٠ر٧٥ ، وعندما $z_1 = 2$ ، $\eta \approx$ ٠ر٧٥ ــ ٠ر٨٢ وعندما $z_1 = 4$ ، $\eta \approx$ ٠ر٨٦ــ٠ر٩٢
<u>أنواع الاعطاب</u> . تلاحظ أعطاب أسنان وسائل نقل الحركة التى بحثناها فيما قبل (ص ٢٥٩) ، فى وسائل نقل الحركة بالدودات أيضا . الا أنه مع وجود الانزلاق النسبى بين أشكال عناصر الوسيلة الدودية المتقارنة يرتفع التآكل بالاحتكاك ويزيد احتمال وقوع العض .
والعض الذى يحدث فى وسائل نقل الحركة بالتروس بنسبة أقل ، يلاحظ فى الوسائل الدودية فى كثير من الاحيان مثله فى ذلك مثل تفتت الاسطح ، ويقيد هذا بالدرجة الاولى من مقدرة التحميل . ويصبح خطر حدوث العض اكبر ما يمكن فى منطقة أقل الظروف ملاءمة لتكون اسفين الزيت (oil wedge) .
ويمكن رفع مقاومة وسيلة نقل الحركة للعض بواسطة انتقاء مواد زوج الدودة ـ العجلة الدودية، بحيث تتمتع بخواص عالية فى مقاومة الاحتكاك، وكذلك برفع كفاءة نظافة الاسطح ، وخصوصا بالنسبة للدودات، وباستخدام زيوت تزييت مضادة للعض .
ويظهر تفتت الاسطح وتكسرها فى الوسائل الدودية لنقل الحركة بنفس الشكل الذى يظهران به فى وسائل نقل الحركة بالتروس، الا انه فى العادة تصلب أسنان العجلة الدودية ، وبنسبة أقل أسنان الدودة.
وتآكل أسنان عجلات الدودات يكون فى العادة اكبر من تآكل

أسنان التروس؛ ويفسر هذا بانزلاق اسنان الدودات بالنسبة لاسنان العجلات. ويحدث التآكل بالاحتكاك بشدة فى الفترة الابتدائية لعمل وسائل نقل الحركة، عندما يكون عدم الانتظام من اسطح الاسنان أعلى من سمك طبقة الزيت الرقيقة. ومن عملية التليين يسوى عدم الانتظام هذا ثم يقل التآكل بالاحتكاك. وفى الوسائل الدودية لنقل الحركة التى تعمل فى ظروف بدء الادارة المتكررة كثيرا مع الايقاف تحت تأثير الحمل، يكون التآكل بالاحتكاك اكبر حيث أن ظروف تكون طبقة الزيت الرقيقة فى تلك الفترات تكون غير ملائمة.

وفى الوسائل المفتوحة لنقل الحركة وفى الوسائل المقفولة عند تلوث زيت التزييت - يكون التآكل بالاحتكاك اكبر، ومن أجل تقليله يجب بعد انتهاء فترة التليين، تفريغ وسيلة نقل الحركة من الزيت، وغسل جسم الوسيلة ثم ملؤه بزيت جديد نظيف. ويمكن زيادة مقاومة الوسيلة للتآكل بالاحتكاك عن طريق تشطيب أسطح أسنان العجلة والدودة وكذلك باختيار اللزوجة اللازمة لزيت التزييت.

اجزاء الوسائل الدودية لنقل الحركة

المواد. يطرح فى العادة على مواد الزوج الدودى متطلبات مناظرة لمتطلبات مواد العجلات المسننة (انظر ص ٢٦٥). الا أن الدودة وعجلتها يجب أن تكونا زوجا مقاوما للاحتكاك. ويتحقق ذلك الشرط بافضل ما يمكن عند الجمع بين مواد متنوعة للاسطح المتماسة: الدودة من الصلب وعجلتها من البرونز أو الحديد الزهر.

وتتمتع أنواع البرونز عالية نسبة التصدير OΦ 10 – 1 ، OΦ 10 – 05 ، OHΦ تتمتع بأعلى خواص نوعية مضادة للاحتكاك. والعجلات المصنوعة من تلك المواد يجب استخدامها لوسائل نقل الحركة الهامة ذات سرعات الانزلاق v_{sl} > ٣ أمتار فى الثانية. وأنواع البرونز الخالية من القصدير AЖ 9 – 4 ، AЖH 10 – 4 – 4 ، تقاوم العض بشكل أردأ، ونتيجة لذلك لا يوصى باستعمالها عندما تكون v_{sl} > ٩ أمتار/الثانية ويفرض رفع الخواص الميكانيكية للعجلات البرونزية، تسبك بطريقة الطرد المركزى.

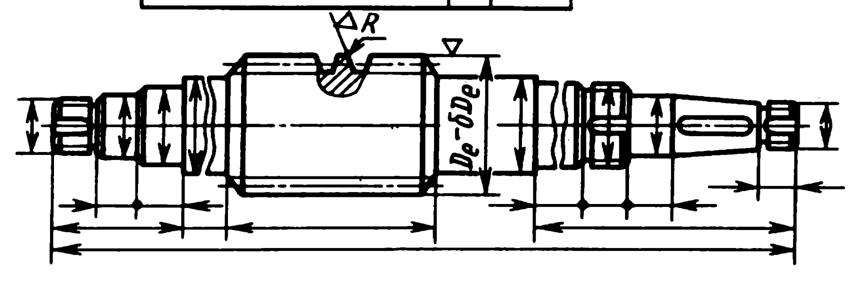
وبالنسبة لسرعات الانزلاق القليلة (v_{sl} > مترين/الثانية) تصنع العجلات من الحديد الزهر الرمادى من الاصناف ابتداء من СЧ 15 – 32 حتى СЧ 21 – 40 .

والمادة الاساسية لصناعة الدودات هى الصلب الكربونى أو صلب السبائك؛ والاندر من ذلك كثيرا، استخدام الحديد الزهر من النوع СЧ 18 – 36 ، الا أنه يستخدم لوسائل نقل الحركة بالدودات البطيئة السرعة وغير ذات المسئولية. والدودات المصنوعة من أنواع الصلب 20 XΦ

15 X, 15 XA, 20 X, 12 XH3 تجرى لها التقسية الاسمنتية أو العادية حتى صلادة أسطح الاسنان Rc 56 – 62 والدودات المصنوعة من أنواع الصلب 40, 45, 40 X, 40 XH تقسى حتى صلادة Rc 45 – 55 . والدودات غير المقساة عندما تكون صلادة أسطحها Bhn < ٢٧٠ تستخدم أساسا للوسائل اليدوية لنقل الحركة.

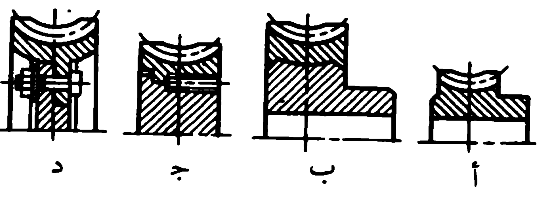
تصميم الدودات وعجلاتها. تنفذ الدودات فى العادة قطعة واحدة مع اعمدتها، والاندر أن اكون مركبة عليها. والشكل ١٧ - ٥ يبين تصميم الدودة. وتحتوى جداول الرسومات الصناعية على المعلومات اللازمة التى توصف التعشيق.

الموديول المحورى	m	
عدد الأبواب	z_1	
نوع الدودة	—	
زاوية تقدم السنة	λ_p	
اتجاه السنة	—	
مشوار الخط الحلزونى	t_h	
بارامترات شكل أسنان الدودة		
زاوية التشكيل	α	
ارتفاع السنة	h	
درجة الدقة		
معلومات للمراجعة		
معلومات اعلامية		



الشكل ١٧ - ٥

وتصنع العجلات الدودية من قطعة واحدة (الشكل ١٧ - ٦، أ) أو مركبة من عدة قطع (الشكل ١٧ - ٦، ب، ج، د). والحافة البرونزية تركب على مركز من الحديد الزهر (الشكل ١٧ - ٦، ج) بالتداخل - فى المعتاد أن يكون من النوع A / Пл (heavy driving fill A) أو الاندر أن يكون من النوع A/Пр (light free driving fill A). ويفرض توفير وسيلة يعول عليها فى نقل عزم اللى، ولمنع الانحراف المحورى للحافة تركب خوابير أو مسامير ملولبة على جهتى حافة العجلة بصورة تبادلية (حسب رقعة الشطرنج) (الشكل ١٧ - ٧). ومعالجة ثقوب تركيب الخوابير المستديرة واللوالب تجرى بعد التجميع. وبعد تركيب اللوالب تقطع رؤوسها. ويؤخذ قطر



الشكل ١٧ - ٦

المسامير مساويا (٢ر١ ÷ ٥ر١) m ، وبطول (٣ر٠ ÷ ٤ر٠) b . والخوابير المستديرة ذات نفس القطر يبلغ طولها ما لا يزيد عن نصف عرض حافة العجلة . أما توافقها فيكون من النوع $\Pi p I_3$.

وتثبيت حافة العجلة الدودية فى مركزها بمساعدة الشفهات يستعمل اذا كان قطر العجلة كبيرا (الشكل ١٧ - ٦ ، د) وتركب مسامير الرباط فى ثقوبها المطلوبة بعد تجميع السرة مع الحافة. وتحسب المسامير على اجهاد القص، وتراجع الوصلة على السحق crushing (انظر ص ١٥٧).

ولتلافى اللعب (الاهتزاز) القطرى والطرفى للعجلات ، تركب العجلة الدودية على عمودها بالتوافق التداخلى بالكبس او بالاحكام. وعند تركيب العجلات على اعمدة مسننة (بقنوات) ، أو عندما يكون هناك ضرورة لفك سرة العجلة من عمودها يؤخذ التوافق الاجهادى او القسرى.

	m	الموديول المحورى
	Z_2	عدد الأسنان
دورة التعشيق		نوع الدودة
	Z_1	عدد الأبواب
		اتجاه أسنان الدودة
	A_0	المسافة بين المحورين أثناء القطع
		درجة الدقة حسب المواصفات القياسية
		معلومات للمراجعة
معطيات اعلامية		دودة التعشيق
		سكينة تشكيل الأسنان

الشكل ١٧ - ٧

دقة نقل الحركة. خلافا على نقل الحركة بالتروس فان التعشيق السليم فى نقل الحركة بالدودات يصبح ممكنا فقط فى حالة مطابقة المسافة بين المحورين فيها مع المسافة بين المحورين فى ماكينة تفتيح الاسنان عند تفتيح اسنان العجلة. ودقة صنع وسيلة نقل الحركة بالدودات نتيجة للجساءة العالية لعناصر التعشيق تؤثر على عملها بشكل اقوى من حالة تأثيرها فى نقل الحركة بالتروس. وبغرض الحد من عدم دقة التصنيع ، وضعت فى المواصفات سماحات قياسية لوسائل نقل الحركة بالدودات. ولوسائل نقل القدرة تحدد المواصفات القياسية معدلات للدقة حسب الدرجات ٥ ، ٦ ، ٧ ، ٨ ، ٩ . والعوامل التى تحدد الدرجة الواجبة لدقة وسيلة نقل الحركة تعتبر السرعة المحيطية للعجلة الدودية، والغرض من نقل الحركة. وتبعا لذلك تحدد طريقة تفتيح الاسنان وتشطيبها .

والمواصفة القياسية تطبق أيضا على وسائل نقل القدرة ذات الموديول الاعلى من ١ وحتى ٣٠ مم . بأقطار دوائر الخطوة فى العجلات

الدودية حتى d_{p2} = ٢٠٠٠ مم وبأقطار اسطوانة التقسيم للدودات حتى d_{p1} = ٤٠٠ مم .

وتستخدم وسائل نقل الحركة ذات الدرجة السادسة من الدقة في أزواج التقسيم لماكينات التشغيل ، وكذلك عندما تكون السرعة المحيطية للعجلة الدودية أعلى من ٥ أمتار/الثانية ؛ والدرجة السابعة - في ماكينات النقل والرفع ؛ والدرجة الثامنة - في وسائل نقل الحركة ذات الاغراض العامة عندما تكون سرعة العجلة أقل من ٣ أمتار/الثانية. وفى وسائل نقل الحركة ذات الدرجتين السادسة والسابعة للدقة يجب أن تكون الدودات مقساة اسمنتيا أو بالطريقة الاعتيادية، أما اسنانها فتكون مجلخة. وللوسائل من الدرجتين الثامنة والتاسعة فلا يلزم تجليخ الدودات .

حساب وسائل نقل الحركة بالدودات

معايير الحساب . بسبب صعوبة تكوين طريقة لحساب قائمة على ممهدات نظرية دقيقة، تحسب وسائل الحركة بالدودات بمثل طريقة حساب وسائل نقل الحركة بالتروس، وهى بحساب متانة أسطح الاسنان وحساب متانة كسر الاسنان ، أما الاجهادات المسموح بها فتصحح لتلافى التآكل بالاحتكاك والعض على أساس معطيات التجارب وتشغيل هذه الوسائل .

وأبعاد الوسائل المغلقة لنقل الحركة تحدد من حساب تلافى أعطاب الاسطح العاملة للاسنان ، ويحمل حساب الاسنان على الكسر طابع المراجعة. أما أبعاد الوسائل المكشوفة لنقل الحركة فتوجد من حساب الكسر (حسب موديول الوسيلة) .

وحيث أنه فى وسائل نقل الحركة بالدودات يكون الفاقد نتيجة انزلاق أسنان الدودة بطول أسنان العجلة انزلاقا كبيرا ، تحسب وسيلة نقل الحركة على ارتفاع درجة حرارتها .

القوى المؤثرة على التعشيق. لنفرض أن قوة الضغط العمودى P_n مركزة فى قطب التعشيق P (الشكل ١٧ - ٨) . وباستخدام الصيغتين (15.8) و (15.9) الخاصتين لوسائل نقل الحركة بالتروس، وباعتبار أن زاوية ميل الاسنان على العجلة الدودية هى β_2 ومساوية لزاوية تقدم أسنان الدودة λ نحصل على :

والقوة المحيطية على العجلة تساوى القوة المحيطية على الدودة ، وعندما يكون عزم اللى على العجلة M_{t2} تكون

$$P_2 = \frac{2\,M_{t2}}{d_2} = P_{a1} \qquad (17.6)$$

والقوة القطرية على العجلة والدودة

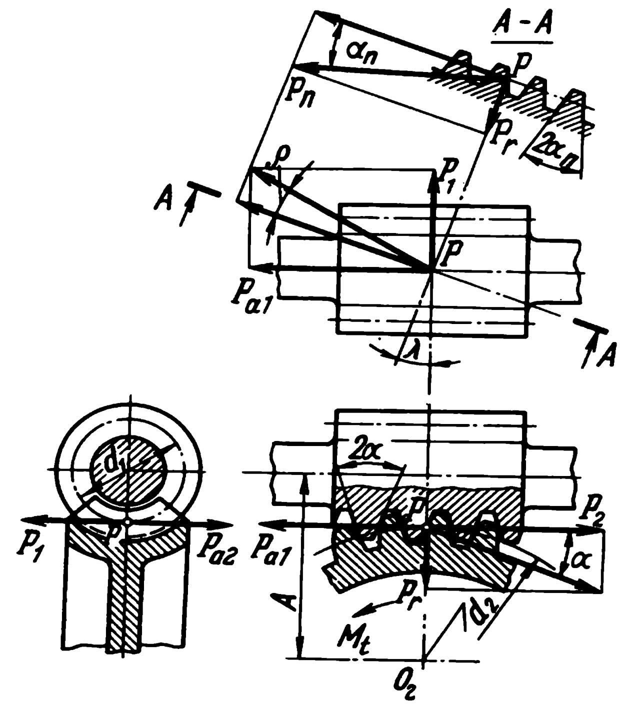
$$P_r = P_2 \tan\alpha \qquad (17.7)$$

والقوة المحورية على العجلة تساوى القوة المحيطية على الدودة ، ومع اعتبار قوة الاحتكاك

$$P_{a2} = P_2 \tan(\lambda + \rho) = P_1 = \frac{2M_{t1}}{d_1} \qquad (17.8)$$

حيث ρ - زاوية الاحتكاك .

واتجاهات القوى تحدد بنفس طريقة تحديدها فى التعشيق بين التروس . ومن هذه القوى يحسب جسم الدودة على المتانة (انظر ص ٤٤٣) .



الشكل ١٧ - ٨

والقوة العمودية تساوى عندما تكون

$$\cos\alpha \approx \cos\alpha_n, \ \cos\lambda \approx \cos(\lambda + \rho)$$

$$P_n = \frac{P_{a1}}{\cos(\lambda+\rho)\cos\alpha_n} \approx \frac{2M_{t2}}{d_2 \cos\lambda \ \cos\alpha} \qquad (17.9)$$

وتستخدم هذه القيمة عند حساب متانة أسنان العجلة .

<u>الحمل الحسابى</u> . يمكن بنفس الطريقة المتبعة لحالة نقل الحركة بالتروس حساب الحمل النوعى الاقصى بالتقريب بواسطة قسمة الحمل العمودى P_n على أقل طول كلى لخطوط التماس . وطول خط تماس واحد l يتناسب طرديا مع قطر دائرة الخطوة فى الدودة d_{p2} ومع زاوية التماس 2γ . واذا اخذنا فى الاعتبار أنه مع زيادة زاوية تقدم السنة λ يزيد طول خط التماس بالتناسب العكسى مع $\cos\lambda$ ، فانه عندما يكون معامل التغطية ε ومع أقل قيمة لمعامل اختلاف الطول الكلى لخطوط التماس λ'_{min} ، نحصل على :

$$l_{min} = \frac{\pi d_{p1}\, \varepsilon\, \lambda'_{min}\, 2\gamma}{360^\circ \cos\lambda}$$

ويمكن مع التقريب اعتبار أن $2\gamma = 100^\circ$ ، $\varepsilon \approx 1.8$ ، $\lambda'_{min} = 0.75$

(وذلك بسبب الاتساع الملموس فى اختلاف الطول الكلى لخطوط التماس بالمقارنة بحالة وسيلة نقل الحركة ذات الاسنان المائلة) ؛ وبالتالى :

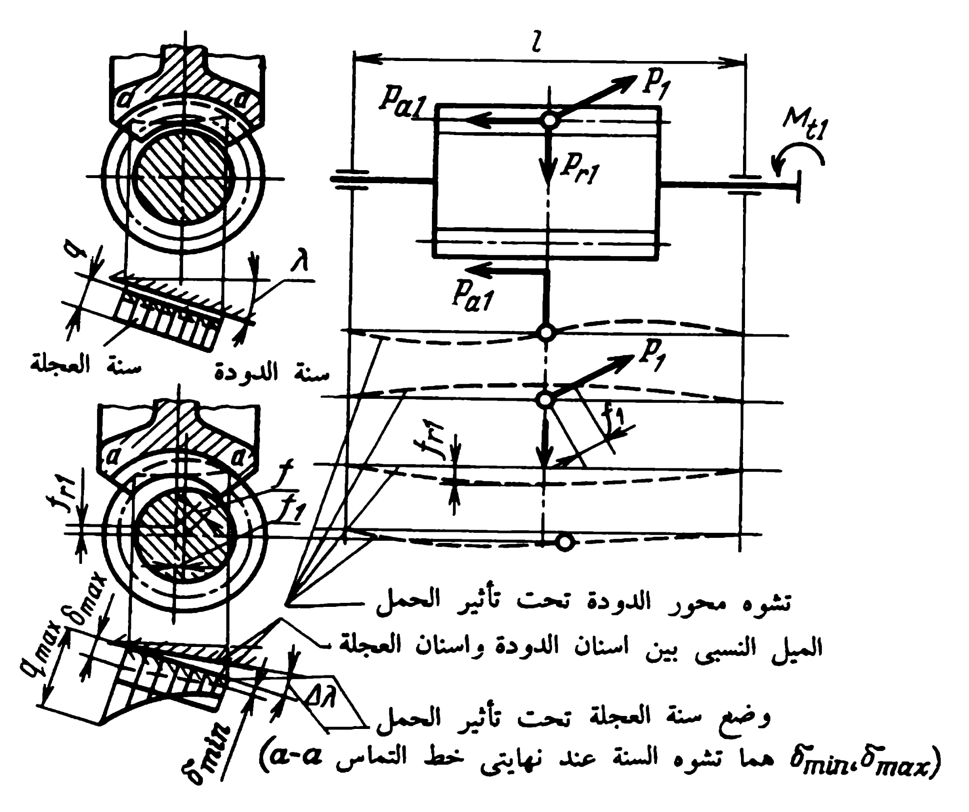
$$q = \frac{P_n}{l_{min}} = \frac{2M_{t2}\, 360^\circ \cos\lambda}{d_2 \cos\lambda \cos 20^\circ \ \pi\, d_{p1}\ 1.8 \times 0.75 \times 100^\circ} = \frac{1.8M_{t2}}{d_2\, d_{p1}} \ \text{kgf/cm}$$

وكما هو الحال فى وسائل نقل الحركة بالتروس فان زيادة الحمل الحسابى q_{des} بالمقارنة بالحمل المتوسط q تراعى بادخال معاملات للتصحيح : k_{con} - معامل نظام التحميل ، k_c -معامل تركيز الحمل ، k_d - معامل الحمل الديناميكى :

$$q_{des} = q k_{con} k_c k_d = \frac{1.8 M_{t2}}{d_2 d_{p1}} k_{con} k_c k_d \text{ kgf/cm} \qquad (17.10)$$

ومثلما فى حالة حساب التروس، فعلى أساس العلاقة (2.17)يؤخذ معامل نظام الحمل فى الاخيرة فى الاعتبار عند تحديد الاجهادات المسموح بها (انظر ص ٣٣٤).

معامل تركيز الحمل. نتيجة لتشوه الدودة وعمود العجلة وكراسى المحاور وجسم وسيلة نقل الحركة، وعدم دقة التصنيع والتجميع، فان



الشكل ١٧ - ٩

الحمل على طول خطوط التماس يتوزع توزيعا غير منتظم. واكبر تأثير على مقدار عدم الانتظام يبديه تشوه الدودة - وهى العنصر الاقل جساءة بالمقارنة بالعجلة الدودية. وتحت تأثير القوتين P_a ، P_r (الشكل ١٧ - ٩) تعانى الدودة من تشوه الثنى فى المستوى الاوسط،أما تحت تأثير القوة P_1 - ففى المستوى المتعامد معها. ونتيجة لانحراف الدودة بالنسبة للعجلة، يختل التماس الصحيح بين أسنان الدودة وأسنان العجلة: اذ تزيد كثافة التماس عند أحد طرفى السنة بينما تقل عند الطرف الآخر. والرسم البيانى الذى يوضح الحمل النوعى (الشكل ١٧ - ٩) ينحصر فى كونه خطا مستقيما، أما معامل تركيز

الاحمال فيتحدد بوصفه النسبة بين الحمل الاقصى الى الحمل المتوسط:

$$k_c = \frac{q_{max}}{q} = \frac{q + \Delta q}{q} = 1 + \frac{\Delta q}{q}$$

والقيمة Δq تتناسب مع زاوية الميل المتبادل بين أسنان الدودة وأسنان العجلة، كما تتناسب تقريبا مع انحناء الدودة. والاخير يمكن مع التقريب تحديده مثل انحناء عتبة محملة على ركيزتين تحت تأثير القوة P_n فى منتصف المسافة بين الركيزتين l . وحيث أن طول الباع يتناسب مع قطر العجلة، أى مع عدد أسنانها، أما جساءة الدودة ـ فمع المتغير الاساسي فيها ـ عدد الابواب ومع المعامل q (انظر ص ٣١٧) فيمكن افتراض أن $\frac{\Delta q}{q} = \left(\frac{z_2}{\theta}\right)^3$ ، حيث θ ـ معامل التناسب وهو يعتمد على متغيرات الدودة (جدول ١٧ ـ ٣).

الجدول ١٧ ـ ٣

معاملات التشوه للدودة θ

z_1	قيمة θ عندما تكون q						
	٧ر٥	٨	٩	١٠	١٢	١٤	١٦
١	٦٣	٧٢	٨٩	١٠٨	١٤٧	١٧٦	٢١٥
٢	٥١	٥٧	٧١	٨٦	١١٧	١٤٠	١٧١
٤	٤١	٤٧	٥٨	٧٠	٩٤	١١٢	١٣٧

وفى عملية استخدام وسيلة نقل الحركة تحت الحمل الثابت تشغل أسطح الاسنان الاكثر لينا للعجلة الدودية ويتوزع الحمل بانتظام كاف، وعندها تصبح $k_c = 1$. واذا كانت وسيلة نقل الحركة تعمل تحت حمل متغير، فبسبب تغير التشوه فى الدودة فان الحمل لا يتوزع بانتظام كامل. الا أنه يمكن افتراض أن تأثير متوسط عزم اللى مع الزمن، يصبح الحمل موزعا بانتظام. وعند تأثير عزم مغاير لذلك العزم المتوسط، سوف يظهر عدم انتظام يصبح اكبر كلما زاد الفرق بين هذين العزمين. واذا كانت النسبة بين عزم اللى المتوسط مع الزمن، وبين العزم الاقصى

$$m = \frac{\Sigma M_i T_i}{M_{t_2} \Sigma T_i} \tag{17.11}$$

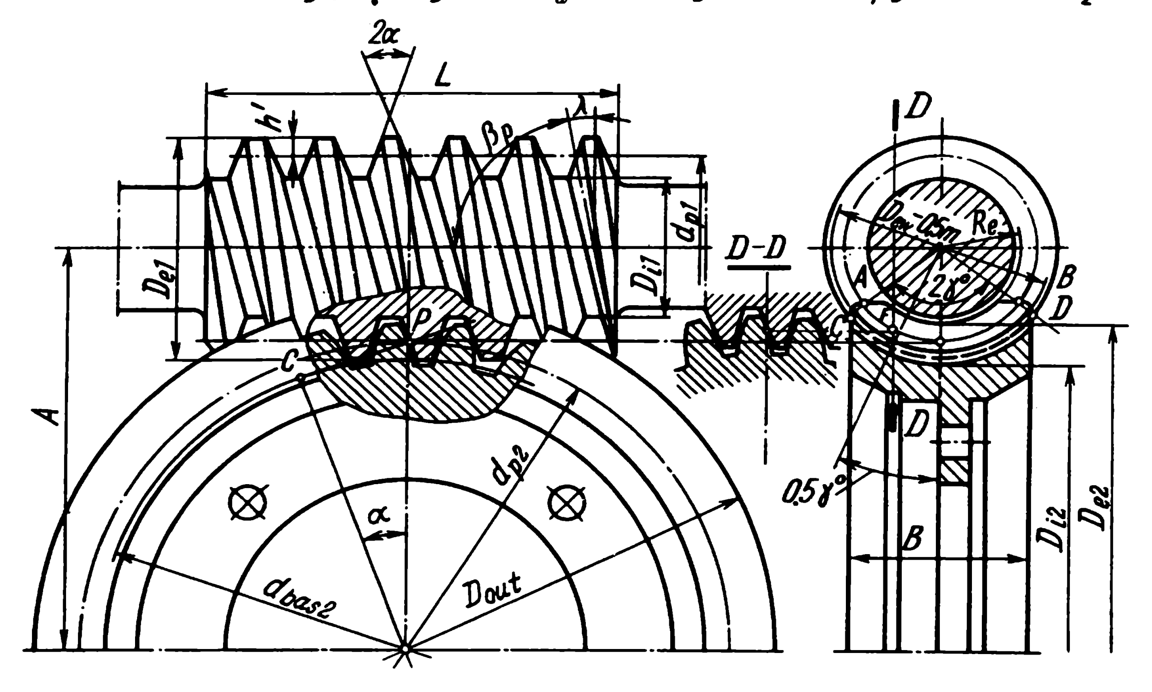
فان معامل تركيز الحمل يتحدد من الصيغة

$$k_c = 1 + \left(\frac{z_2}{\theta}\right)^3 (1 - m) \tag{17.12}$$

حيث M_i - عزوم اللى المؤثرة على العجلة (بما فيها M_{t_2} المحتسب كعزم حسابى) ؛

T_i - مدة تأثير العزم M_i بالساعات خلال كل عمر تشغيل الوسيلة.

معامل الحمل الديناميكي . نتيجة لخصائص تشغيل الزوج الدودى العجلة - الدودة (" ربط " الدودة) فان الوسيلة الدودية لنقل الحركة تعمل بنعومة اكثر من حالة التروس. لذلك يمكن اعتبار القيم الاقل لمعامل الحمل الديناميكى k_d بالمقارنة بما يستخدم فى وسائل نقل الحركة بالتروس : فللوسائل ذات درجتى الدقة السابعة والثامنة عندما تكون v_2 < ٣ امتار فى الثانية تكون k_d = ١ ÷ ١ر٢ ؛ وعندما تكون v_2 = ٣ — ٨ أمتار فى الثانية يكون k_d = ١ر١ ÷ ١ر٣ وعندما تكون v_2 > ٨ أمتار/ الثانية يؤخذ k_d = ١ر٢ ÷ ١ر٤ .



الشكل ١٧ - ١٠

حساب متانة التلامس. لحساب الاسطح العاملة، سوف نأخذ الصيغة (2.30) كعلاقة ابتدائية مثلما صنعنا فى حساب وسائل نقل الحركة بالتروس . ومثلما هو الحال فى وسائل نقل الحركة بالتروس، فان منطقة أقل متانة تلامس توجد بالقرب من القطب. لذلك يجب ادخال قيمة نصف قطر التقوس المكافىء عند المقطع العمودى، من الصيغة (2.30) وذلك للحظة التماس فى قطب التعشيق (الشكل ١٧ - ١٠).

وفى المقطع المتوسط، يمكن تشبيه كل من العجلة الدودية ودودتها بتعشيق عجلة ذات أسنان مائلة مع جريدة مسننة. ومن الصيغة (15.42) عندما يكون نصف قطر تقوس أسنان الدودة $\rho_1 = \infty$ ، نحصل على :

$$\rho = \rho_2 = \frac{d_{p_2}}{2} \cdot \frac{\sin \alpha}{\cos \lambda}$$

(اذ أن زاوية ميل الاسنان على العجلة β_2 = زاوية تقدم أسنان الدودة λ) .

وبعد التعويض عن قيمة ρ من المعادلة الاخيرة، وعن q_d من الصيغة (17.10) من المعادلة (2.30) نحصل على

$$\sigma_{sur} = \frac{1.35}{d_2}\sqrt{\frac{M_{t_2}E}{d_{p_1}}k_c k_d} = \frac{1.35}{\frac{d_2}{d_{p_1}}}\sqrt{\frac{M_{t_2}E}{d_{p_1}^3}}\, k_c k_d \leqslant [\sigma]_{sur}\ \mathrm{kgf/cm^2} \qquad (17.13)$$

وبالتعويض

$$\frac{d_2}{d_{p_1}} = \frac{z_2}{q};\ d_{p_1}^3 = m^3 q^3;\ m = \frac{2A}{q+z_2}$$

عند ذلك

$$\sigma_{sur} = \frac{0.5}{\frac{z_2}{q}}\sqrt{\left(\frac{\frac{z_2}{q}+1}{A}\right)^3 EM_{t_2}k_c k_d} \leqslant [\sigma]_{sur}\ \mathrm{kgf/cm^2} \qquad (17.14)$$

وبالنسبة للدودة المصنوعة من الصلب والعجلة الدودية المصنوعة حافتها من البرونز يكون معامل المرونة المكافىء الطولى $E \approx$ ١٫٢٧ × ١٠[٦] كجم/سم[٢] . وفى هذه الحالة بعد اجراء الاختصارات فى الصيغتين (17.13)، (17.14) نحصل على

$$\sigma_{sur} = \frac{1500}{d_2}\sqrt{\frac{M_{t_2}}{d_{p_1}}k_c k_d} = \frac{540}{\frac{z_2}{q}}\sqrt{\left(\frac{\frac{z_2}{q}+1}{A}\right)^3 M_{t_2}k_c k_d} \leqslant [\sigma]_{sur}\ \mathrm{kgf/cm^2} \qquad (17.15)$$

ومن الصيغة الاخيرة يمكن الحصول على المسافة بين المحورين (بالنسبة للحسابات التصميمية للوسائل المغلقة لنقل الحركة)

$$A = \left(\frac{z_2}{q}+1\right)\sqrt[3]{\left(\frac{540}{\frac{z_2}{q}[\sigma]_{sur}}\right)^2 M_{t_2}k_c k_d}\ \mathrm{cm} \qquad (17.16)$$

والمقدار A الذى استنتج من الصيغة (17.16) يلزم تقريبه حتى يتفق وأقرب قيمة واردة فى المواصفة . واذا لم تكن وسيلة نقل الحركة جهازا مستقلا بذاته يسمح بأخذ قيمة A مخالفة للوارد فى المواصفات .

وعند اجراء الحساب التصميمى يجب فرض القيمتين q ، z_2 وتنص المواصفة على عدم قيم تتحدد بالمقدار q = ٧٫٥ ÷ ١٦ . والقيم الاكبر ل q تؤخذ فى حالات الدودات المركبة على أعمدتها فى حالة ضرورة زيادة جساءة الدودة .

وعدد أسنان العجلة الدودية z_2 مرتبط بنسبة نقل السرعة i وعدد أبواب الدودة z_1 . ولا يجب أن يقل عدد الاسنان عن ٢٢-٢٦ سنة ، والا قل سطح التعشيق كثيرا . لذلك مثلا عندما تكون i = ١٥

يجب أن تكون z_2 = ٣٠ ، z_1 = ٢ . وأقصى عدد للاسنان يمكن أن يكون أى عدد ، ولكن فى وسائل نقل القدرة لا ينصح باستخدام z_2 > ٨٠ ، حيث أنه لو زاد سيزيد معه قطر العجلة والمسافة بين ركيزتى الدودة مما يؤدى الى زيادة تشوهها . وفى الدوائر الكينماتيكية لاجهزة التقسيم تصل z_2 الى ٦٠٠ — ١٠٠٠ .

ولغرض الحد من تنوع سكاكين تفتيح أسنان العجلات تنظم عناصر الدودة بالمواصفة . أما عدد الابواب فاصطلح على أخذه z_1 = ١ ، ٢ ، ٤ . ويمكن التخلى عن المواصفة القياسية فقط فى حالة تفتيح أسنان العجلات المنفردة بعدة خاصة ، وكذلك عندما يكون على الوسيلة الدودية لنقل الحركة أن تركب فى آلية لا يسمح رسمها أو أبعادها بالانتفاع بوسيلة نقل الحركة حسب المواصفات القياسية .

<u>اجهادات التلامس المسموح بها</u> . من حالة استخدام عجلات من الحديد الزهر أو من البرونز ذات حد متانة σ_{ut} > ٣٠ كجم/مم٢ يكون اختلال عمل وسيلة نقل الحركة فى الارجح نتيجة للعض (انظر ص ٣٢٤) ؛ لذلك فان الاجهادات المسموح بها (الجدول ١٧ - ٤) تختار تبعا للمعدنين أو المادتين المتلامستين ولسرعة الانزلاق دون اعتبار لعدد دورات التحميل ، حيث أن مقدار الاجهادات المسموح بها يكون أقل كثيرا من حد الاطاقة فى التلامس .

الجدول ١٧ - ٤

اجهادات التلامس المسموح بها $[\sigma]_{sur}$ لمواد العجلات الدودية من شروط مقاومة العض

المادة	$[\sigma]_{sur}$	بالكجم/سم٢ عند سرعة الانزلاق v_{sl} متر/الثانية						
الدودة	العجلة الدودية	٠٫٢٥	٠٫٥٠	١	٢	٣	٤	٦
صلب ٢٠ ، X٢٠ مصلد أسمنتيا (بصلادة $Rc > 45$)	СЧ 15-32 СЧ 18-36	١٦٠٠	١٣٠٠	١١٥٠	٩٠٠	-	-	-
صلب ٤٥ صلب ٦	СЧ 15-32 СЧ 18-36	١٤٠٠	١١٠٠	٩٠٠	٧٠٠	-	-	-
صلب مقسى	АЖ 9-4	-	٢٥٠٠	٢٣٠٠	٢١٠٠	١٨٠٠	١٦٠٠	١٢٠٠

واذا كانت العجلة الدودية من البرونز بحد متانة σ_{ut} > ٣٠ كجم/مم ، فان مقدرة وسيلة نقل الحركة على الحمل تتحدد بالكلال التلامسى ، اما مقدار الاجهاد المسموح به فيجب أن يختار حسب الصيغة (15.22) .

$$[\sigma]_{sur} = [\sigma]'_{sur} k_{con} k_{sur} k_{vis}$$

ومعامل نظام التحميل k_{con} يحدد من صيغة مماثلة للصيغة (15.23) مع التعويض عن الأس m .. بالمقدار ٨ الذى عرف تجريبيا ،

$$k_{con} = \sqrt[8]{\frac{10^7}{N_{eq}}} \qquad (17.17)$$

وفى حالة النظام المتغير (بدرجات) للتحميل ، يكون عدد الدورات N_{eq} محسوبا من الصيغة الناتجة من الصيغة (2.17) عندما تكون $m = 8$

$$N_{eq} = \frac{60}{M_2^4} \Sigma (M_i)^4 \; T_i n_i \qquad (17.18)$$

واذا كان الحمل ثابتا ، فان $N = N_{eq}$. وعندما تكون $N_{eq} > 25 \times 10^7$ يجب أخذ $N_{eq} = 25 \times 10^7$ ، وسوف تكون أقل قيمة للمعامل k_{con} مساوية لـ ٦٧ر٠ .

وقيم $[\sigma]'_{sur}$ بالنسبة لبعض مواد العجلات عند عملها مع دودة من الصلب واردة فى الجدول ١٧ - ٥ .

الجدول ١٧ - ٥

قيم $[\sigma]'_{sur}$ فى حالات أنواع مختلفة من سباكة حواف العجلات

المادة وطريقة السباكة	$[\sigma]'_{sur}$ كجم/سم^2 عند صلادة سطح أسنان الدودة Rc	
	< ٤٥	≥ ٤٥
OΦ 10-1 in sand	١٣٠٠	١٦٠٠
OΦ 10-1 in metal	١٩٠٠	٢٢٥٠
OHΦ centrifugal	٢١٠٠	٢٥٠٠

<u>حساب الاسنان لتلافى الكسر.</u> تحسب على تلافى الكسر فقط أسنان العجلة، حيث أن أسنان الدودة تتمتع بمتانة أعلى كثيرا . وبفضل تقوس مقطع التحام السنة، وكذلك بسبب أن خطوط التماس موجودة بميل على القاعدة، فان متانة أسنان العجلة الدودية أعلى من متانة أسنان التروس الاسطوانية. والاسباب الواردة أعلاه تعقد تعيين الاجهادات الحقيقية. وبهدف تبسيط الحسابات سنأخذ كعلاقة ابتدائية الصيغة الخاصة بتحديد الاجهادات فى المقطع الخطر من الاسنان المائلة ولكن سندخل التعديلات اللازمة.

وقاعدة السنة أطول من الطول الافتراضى لخط التماس، المأخوذ مساويا لقوس على اسطوانة الخطوة فى الدودة فى حدود زاوية الالتفاف 2γ

وزيادة متانة السنة يمكن اعتبارها متناسبة مع النسبة بين طـــــول قاعدتها وبين طول خط التماس الذى يطبق الحمل من خلاله علـى السنة (الشكل ١٧ - ١٠) :

$$\frac{\smile CD}{\smile AB} = \frac{l_0}{l_2} \approx \frac{D_{e_1}}{d_{p_1}} \approx \frac{qm + 2m}{qm} = \frac{q + 2}{q}$$

وعلاوة على ذلك ففى الشكل ١٧ - ١٠ واضح أن متانة سنة العجلـــة فى المقاطع الموازية للمستوى الاوسط، أعلى من ما هى عليه فى المقطع المتوسط : فى المقطع $D - D$ يكون للسنة شكل السنة المعدلـــــة بالازاحة الموجبة ξ_m . وكمعامل متوسط يمكن اعتبار قيمته للمقطـــع المار بالنقطة F ،التى تتحدد بتقاطع الخط الافقى المماس لدائـــرة الخطوة فى الدودة (حيث ξ = صفر)، مع الشعاع المار بزاويـــة $\frac{2\gamma}{4}$ من مركز الدودة. ومع التقريب يكون لهذا المقطع

$$\xi = \frac{q}{2}\,(1 - \cos\frac{2\gamma}{4}) \approx 0.05q$$

واذا اخذنا فى المتوسط q = ١٠ ،لحصلنا على $\frac{q+2}{q}$ تساوى ٢ر١ ، و ξ =٥ر٠ وعند هذه الازاحة تكون زيادة معامل شــكل الاسنان لحالة z_2 = ٣٠ ÷ ٨٠ مساويا ٢٤ر١ — ١ر١ . واذا أخذنـــا القيمة ١٧ر١ نحصل على الزيادة النسبية فى متانة الاسنان ٢ر١×١٧ر١ = = ٤٠ر١ أى بالتقريب بنسبة ٤٠ ٪ . وبالتعويض فى الصيغة (15.48) عن q_{des} من الصيغة (17.10)، بعد استبدال m_n بالمقدار $m \cos\lambda$، وباعتبار $x = \cos^2\lambda$ حيث أن $\lambda = \beta_p$ ، وبأخذ المعامل ٤ر١ فـــى الاعتبار، وكذلك بادخال المعامل ٥ر١ للتعويض عن التآكل بالاحتــكاك المحتمل فى الاسنان نحصل على

$$\sigma_{bend} = \frac{q_{des}\cos^2\lambda}{my\cos\lambda}\,\frac{1.5}{1.4} \approx \frac{1.9\cos\lambda\, M_{t_2}\, k_c k_d}{m d_{p_2} d_{p_1}\, y} \leqslant [\sigma]_{bend}\ \text{kgf/cm}^2 \qquad (17.19)$$

وللحساب التصميمى للوسائل المكشوفة لنقل الحركة (مع اهمال الزاوية λ) نجد من الصيغة الاخيرة

$$m = 1.24\ \sqrt[3]{\frac{M_{t_2} k_c k_d}{z_2\, g y [\sigma]_{bend}}}\ \text{cm} \qquad (17.20)$$

ومعامل شكل الاسنان y يستخرج من الرسم البيانى (انظـــر الشكل ١٥ - ٢٣) حسب العدد المكافىء للاسنان z_{eq} (15.47).

اجهادات الثنى المسموح بها. بالنسبة لأسنان العجلة الدوديـــة تحدد الاجهادات المسموح بها من الصيغتين (15.32)، (15.33). وبالنسبة لبعض المواد نورد الاجهادات المسموح بها فى الجـــدول

١٧ - ٦ عندما تكون $N \geqslant 10^6$. أما اذا كانت N اكبر من 10^6 ، يجب ضرب القيم الواردة فى الجدول فى معامل نظام التحميل $k_{con} = \sqrt[9]{\frac{10^6}{N}}$. واذا كانت $N > 250 \times 10^6$ يجب أعتبارها $= 250 \times 10^6$ ؛ وعند نظام الحمل المتغير $N_{eq} = N$ يجب حساب الاجهادات بالصيغة (15.35).

الجدول ١٧ - ٦

قيم $[\sigma]_{bend}$ للمواد المختلفة للعجلات

المواد وطريقة سباكة العجلات	$[\sigma]_{bend}$ فى حالة تحميل أسنان العجلة		المواد وطريقة سباكة العجلات	$[\sigma]_{bend}$ فى حالة تحميل أسنان العجلة	
	من جهة واحدة	من جهتين		من جهة واحدة	من جهتين
OΦ 10-1 in sand	٤٠٠	٢٩٠	СЧ 12-28 in sand	٣٤٠	٢١٠
OΦ 10-1 in metal	٥٨٠	٤٢٠	СЧ 15-32 in sand	٣٨٠	٢٤٠
OHΦ centrifural	٦٥٠	٤٦٠	СЧ 18-36 in sand	٤٣٠	٢٧٠
AЖ 9-4 in sand	٧٨٠	٦٤٠	СЧ 21-40 in sand	٤٨٠	٣٠٠

الحساب على ارتفاع درجة الحرارة . ان تولد الحرارة فى وسيلة نقل الحركة بالدورات اكبر كثيرا من حالة وسيلة نقل الحركة بالتروس. لذلك فان الحساب على ارتفاع درجة الحرارة يكون له هنا أهمية خاصة. اذ يجرى لوسائل نقل الحركة ذات الاجسام أو العلب الخاصة بها ، وفقا لما بين فى ص ٣٩٦ .

حساب الابعاد الهندسية الاساسية. بعد أن نحدد المودیول m بحساب المتانة ، وكذلك المسافة بين المحورين A يلزم اجراء حساب هندسى لوسيلة نقل الحركة (الجدولان ١٧ - ٧، ١٧ - ٨). وأبعاد الدودة والعجلة التى تم التوصل اليها يجب أن تتفق والقواعد المنصوص عليها فى المواصفة .

الجدول ١٧ - ٧

صيغ تعيين المتغيرات الهندسية للدودة والعجلة الدودية

عناصر التعشيق	الدودة	العجلة الدودية
قطر اسطوانة الخطوة فى الدودة، وقطر دائـــــرة الخطوة للعجلة	$d_{p_1} = qm$	$d_{p_2} = z_2 m$
قطر دائرة الاساس	$d_1 = m(q + 2\xi)$	$d_2 = d_{p_2}$
زاوية تقدم سنة الدودة على اسطوانة الخطوة	$\lambda = \arctan \dfrac{z_1}{q}$	
معامل التصحيح		$\xi = \dfrac{A}{m} - 0.5\,(q + z_2)$
المسافة بين المحورين	$A = \dfrac{m}{2}\,(q + z_2 + 2\xi)$	
قطر الدائرة الخارجية (القطر الخارجى)	$D_{e_1} = d_{p_1} + 2 f_0 m$	$D_{e_2} = d_{p_2} + 2m(f_0 + c_0^* + \xi)$
قطر دائرة الجذر	$D_{i_1} = d_{p_1} - 2m(f_0 + c_0)$	$D_{i_2} = d_{p_2} - 2m(f_0 + c_0 - \xi)$
القطر الخارجى للعجلة	$At\ z_1 = 1$ $z_1 = 2$ $z_1 = 4$	$D_{out} \leqslant D_{e_2} + 2m$ $D_{out} \leqslant D_{e_2} + 1.5m$ $D_{out} \leqslant D_{e_2} + m$
عرض العجلة	$At\ z_1 = 1$ and 2 $z_1 = 4$	$b \leqslant 0{,}75\ D_{e_1}$ $b \leqslant 0{,}67\ D_{e_1}$

* معامل الخلوص القطرى c_0 = ٠ر٢ .

الجدول ١٧ - ٨

طول جزء الدودة المفتوحة عليه أسنان

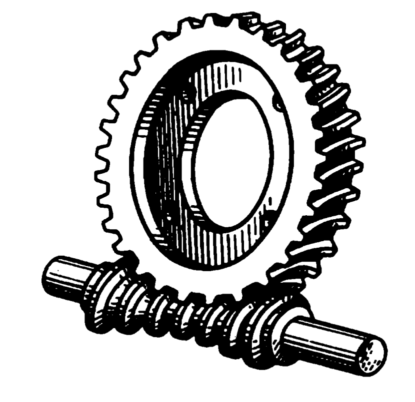
ع	القيمة L (اكبر أو تساوى) لعدد الاسنان	
	١ ، ٢	٤
صفر	(١١ + ٠ر٠٦ z_2) m	(١٢ر٥ + ٠ر٠٩ z_2) m
-٠ر٥	(٨ + ٠ر٠٦ z_2) m	(٩ر٥ + ٠ر٠٩ z_2) m
-١ر٠	(١٠ر٥ + z_1) m	(١٠ر٥ + z_1) m
+٠ر٥	(١١ + ٠ر١ z_2) m	(١٢ر٥ + ٠ر١ z_2) m
+١ر٠	(١٢ + ٠ر١ z_2) m	(١٣ + ٠ر١ z_2) m

الباب الثامن عشر

وسائل نقل الحركة بالدودات شبه الكروية

معلومات عامة

التركيب. تختلف وسائل نقل الحركة بالتروس الكروية عن الوسائل الدودية بشكل الجزء المقطوع عليه الاسنان من جسم الدودة، وهو عبارة عن سطح شبه كروى (الشكل ١٨ - ١)، يحتضن العجلة بقوس معين. وبفضل هذا الشكل للدودة يكون عدد أسنان العجلة المعشقة مع الدودة اكبر كثيرا من العدد المعشق فى وسيلة نقل الحركة بالدودة الاسطوانية، بما يصل الى $z' = 4 \div 8$ أسنان.



الشكل ١٨ - ١

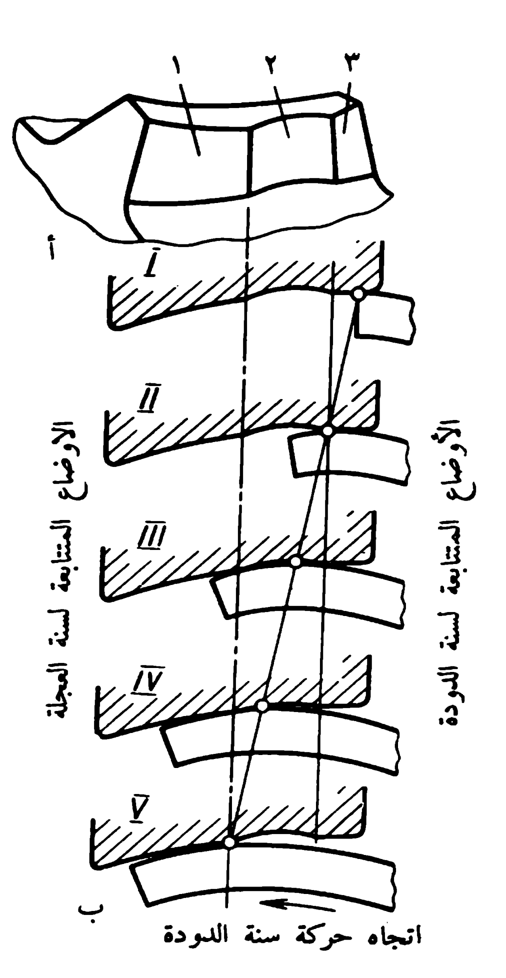
وفى المقطع المحورى من الدودة شبه الكروية يكون شكل أسنانها محدد بخطوط مستقيمة، التى يعتبر امتدادها مماسات للدائرة المحددة لشكل الدودة والتى ينطبق مركزها على مركز العجلة الدودية (انظر الشكل ١٨ - ٥). وشكل الاسنان الدودية هذا فى وسيلة نقل الحركة بالدودات شبه الكروية الكلاسيكية يتكون من خطوط مستقيمة عند دورانها فى المستوى الاوسط من العجلة مع دوران الدودة حول محورها فى نفس الوقت. وعند نفتيح أسنان الدودة تؤدى الحواف المستقيمة للعدة القاطعة دور الخطوط المستقيمة.

وأثناء عملية الدلفنة المتبادلة لسكينة التفريز الكروية، التى يوافق شكلها شكل الدودة، ولخامة العجلة، تتكون الاسطح الجانبية لأسنان العجلة. وأسطح الاسنان (الشكل ١٨ - ٢) تتكون من جزئين رئيسيين: ٢ - الجزء المدلفن للدخول لنصف السنة الذى يعتبر محيطا لسطح سنة الدودة فى حركتها النسبية، و ١ - سطح النصف الثانى من السنة والذى يعتبر أثر حركة أول راسم لسطح سنة الدودة أثناء حركته النسبية. وهذان السطحان غير متوافقين بنعومة بل أن تقاطعهما يكوّن خط انكسار يقع فى المستوى المنصف لوسيلة نقل الحركة. وعلاوة على ذلك فهناك جزء ثالث من السطح، ٣ - وهو منطقة القطع التحتى (undercut) وهى موجودة فى بداية جزء الدخول فى السنة، وتعتبر أيضا أثرا لحركة الراسم الاول لسطح سنة الدودة.

ووسيلة نقل الحركة الكلاسيكية يمكنها أن تنقل الحمل الكامل فقط بعد فترة تليين طويلة، يقل أثنائها سمك أسنان الدودة فى جزئى الدخول والخروج، أما أسنان العجلة فتكتسب شكلا مستقرا. وبهدف تقليل

فترة التليين تصنع وسائل معدلة لنقل الحركة، وفيها يقلل سمك نهايات أسنان الدودة عمدا عند تفتيحها .

والمواصفات القياسية تحدد البارامترات الهندسية الاساسية لوسائل نقل الحركة بالدودات شبه الكروية ذات الدودات المعدلة. وحيث أنه لا يمكن تشكيل أسنان العجلات المختلفة فى عدد أسنانها بواسطة سكينة فريزة شبه كروية واحدة، فان الموديولات غير محددة بصفوف أعداد معينة كما أنها غير موحدة قياسيا.



الشكل ١٨ - ٢

فالمواصفات القياسية تحدد قيم المسافة بين المحورين A ، وأقطار نتوء العجلات فى المستوى الاوسط D_{e_2} ، وعرض العجلات b ، ونسب نقل السرعة. وعلاوة على ذلك فهى تحدد القيم المفضلة للعناصر الاساسية للتعشيق : عدد اسنان العجلات، وعدد أبواب الدودات للحصول على نسب نقل السرعة المعينة. وعدد أسنان العجلة التى تحتضنها الدودة فى آن واحد z' ، والارتفاع العامل لسنة العجلة h_0 ، وارتفاع رأس سنة العجلة h'_2 (انظر الشكل ١٨ - ٨) .

المزايا والعيوب. ان أهم مزايا وسيلة نقل الحركة بالدودات الكروية هو المقدرة العالية على الحمل بالمقارنة بوسيلة نقل الحركة بالدودات الاسطوانية من نفس الابعاد ، (بمقدار ٢ - ٣ مرات تقريبا) .

ويدخل فى عداد عيوب هذه الوسيلة
أ - ضرورة التبريد الصناعى فى أغلب الحالات بسبب قلة سطح التبريد فى جسم الوسيلة ؛
ب - الحساسية العالية تجاه عدم دقة تجميع وسيلة نقل الحركة ؛ جـ - تكنولوجيا التصنيع الاكثر تعقيدا .

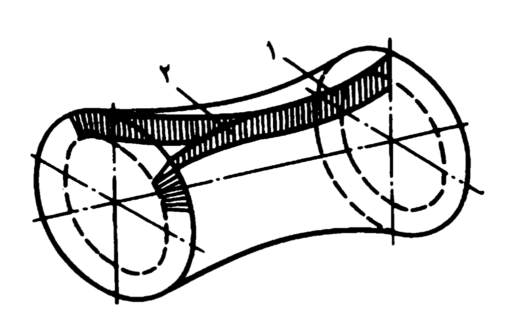
وتستخدم وسائل نقل الحركة بالدودات شبه الكروية كوسائل ادارة لمصاعد الشحن والركاب، وفى عربات الترولل وفى المرفاعات وما الى ذلك. وهى تتمتع بأبعاد أقل من نظائرها فى وسائل نقل الحركة بالدودات الاسطوانية لنفس نطاقات القدرات المنقولة ونسب نقل السرعات.

أسس نظرية وعمل الوسيلة

عملية نقل الحمل فى التعشيق. فى اللحظة الاولى لدخول سنة الدودة الى التجويف بين أسنان العجلة، يمر الراسم الاول لسطح سنة الدودة بالجزء المقطوع قطعا تحتيا من سطح السنة (الشكل ١٨-٢ ، ب ،

الوضع I) . وبعد دوران الدودة لبضعة درجات (الوضع II) يبداء الجزء المدلفن من سنة العجلة فى التماس مع سنة الدودة بواسطة خط تماس اضافى . وبفضل تكون تغاوت على شكل اسفين تتكون ظروف طيبة لتكون طبقة الزيت الرقيقة. وبعد ذلك يبدأ خط الانكسار فى سطح السنة فى التماس مع سنة الدودة، ذلك الخط الذى يكون خط التماس الاساسى (الوضع III) : وفى الوقت نفسه ينتقل خط التماس الاضافى نحو المستوى المنصف (الوضع IV) .

وبناء على هذا ففى حدود النصف الاول من طول الدودة يحدث التماس على طول خطين له ؛ خط التماس الاضافى على السنة الذى يدخل فى عنق الدودة منتقلا فى اتجاه خط التماس الاساسى وينطبق عليه فى نهاية المطاف (الوضع V). وفى النصف الثانى من الدودة يجرى تماس أسنان العجلة مع أسنان الدودة على خط الانكسار.

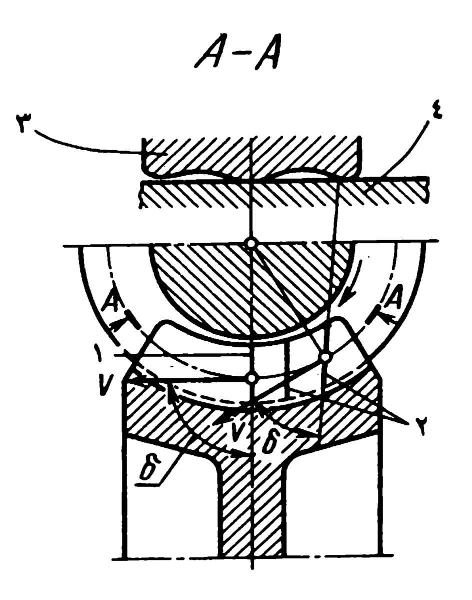


الشكل ١٨ - ٣

والاوضاع المتعاقبة لخطوط التماس فى الفراغ غير المتحرك تكون سطحين للتعشيق : الاساسى ١ ، والاضافى ٢ (الشكل ١٨-٣) . ويمكن لكل اسنان العجلة الواقعة فى حدود قوس احتضان الدودة لها ان تعمل فى آن واحد ، وذلك فى حالة اعداد وجود الدقة تلك العجلة بدقة كافية وبعد انقضاء فترة معينة من التليين .

ونتيجة للخطأ فى التصنيع (وهذا سبب رئيسى) وكذلك التشوه الذى تتعرض له الدودة، يختل نظام توزيع الحمل بين الاسنان المشتركة فى التعشيق .

<u>التزييت، والفواقد ومعامل الكفاية</u>. ان ظروف تكوين اسفين الزيت فى وسيلة نقل الحركة بالدودة شبه الكروية، أفضل مما هى عليه فى وسيلة نقل الحركة بالدودة الإسطوانية : فخطوط التماس ١ (الشكل ١٨-٤) على السطح الاساسى للتعشيق (الشكل ١٨ - ٣) موجودة فى اتجاه متعامد على اتجاه سرعة الانزلاق . وفى منطقة النصف الاول من الدودة (من ناحية مصدر دورانها) توجد الخطوط الاضافية للتماس ٢ الممتدة بزاوية تقترب أيضا من ٩٠° . ويعتبر عاملا وقلة تقوس أسطح الاسنان المتماسة بخطوط التماس الاضافية تعتبر من العوامل المساعدة ايضا (فى المقطع $A-A$ ، الشكل ١٨ - ٤، يرد الوضع النسبى لانفراد سنة



الشكل ١٨ - ٤

العجلة ٣ وسنة الدودة ٤ المتماستين على طول الخطين ١ ، ٢). ويساعد هذا على تكون اسفين زيت مستقر ، وعلى تخفيض اجهادات التماس، وبفضل

ذلك يمكن لوسيلة نقل الحركة بالدودة شبه الكروية أن تنقل حملا اكبر مما تنقله وسيلة نقل الحركة بالدودة الاسطوانية مع تساوى البارامترات.
ولضمان مقدرة طبقة الزيت على الحمل فى التعشيق، مع درجات الحرارة العالية بشكل كاف بسبب الحمل الكبير، يلزم استخدام زيت تزييت ذى لزوجة أعلى. ومن التجارب التى اجريت على مخفضات السرعة بالدودة شبه الكروية، نجد أن اكثر الظروف ملاءمة هو نظام العمل تحت درجات الحرارة ٨٠ - ٩٠° مئوية. مع استخدام الزيوت: زيت الاسطوانات ٥٢ (فابور) وزيت الاسطوانات ٣٨ وزيت الاسطوانات ٢٤ (فزكوزين) (انظر الجدول ٢٥ - ١).
والفاقد فى وسائل نقل الحركة بالدودة شبه الكروية يحدد بنفس الطريقة المستخدمة فى الوسائل ذات الدورات الاسطوانية بالصيغة (17.5) وذلك بعد التعويض عن قيمة زاوية التقدم لسنة الدودة بقيمتها فى منتصف الدودة شبه الكروية (انظر الجدول ١٨ - ١) وعن زاوية الاحتكاك (تؤخذ القيم الاقل فى الجدول ١٧ - ٢).
أنواع الاعطاب. يقابل فى وسائل نقل الحركة بالدودات شبه الكروية كما الحال فى وسائل نقلها بالدودات الاسطوانية كل من التفتت والعض والتآكل بالاحتكاك فى الاسنان. وأسنان الدودة تصاب بالاعطاب بصورة أندر مما تتعرض له أسنان العجلة. ويمكن رفع مقاومة وسيلة نقل الحركة بالدودات شبه الكروية للاعطاب يمكن اتباع نفس الطرق المستخدمة لوسائل نقل الحركة بالدودات الاسطوانية (انظر ص ٣٢٤).

اجزاء وسائل نقل الحركة بالدودات شبه الكروية

المواد. عند اختيار المواد يجب الاخذ بنظر الاعتبار أن العمل الطبيعى للوسيلة لا يمكن أن يتم دون توفر شرط التماس الجيد بين أسنان الدودة وأسنان العجلة، ويتم التوصل الى هذا عن طريق اجراء التليين. وصلادة سطح أسنان الدودة يجب الا تكون قليلة جدا، وذلك خشية وقوع العض واشتداد التآكل بالاحتكاك. وأفضل خواص فى التشغيل هى الخواص التى تتمتع بها وسائل نقل الحركة بالدودات الكروية ذات الدودات المحسنة وذات الصلادة RC 30–38. كما وان الدودات شبه الكروية تعرض لعملية التجليخ؛ وعند وجود الصلادة المذكورة يمكن اجراء تشطيب الدودة بواسطة العدة القاطعة نفسها. وفى الحالات المسئولة تصنع الدودات من أنواع الصلب 35XMA، 38XГH أو 40XH، والاكثر من الصلب 40X.
ومادة العجلة يجب أن تتمتع بأقل معامل احتكاك فى ظروف الاحتكاك على الحواف، كما ويجب أن تتسم بمقاومة جيدة للعض. ومن المواد التى تستجيب لهذه المتطلبات على خير وجه هو البرونز القصديرى

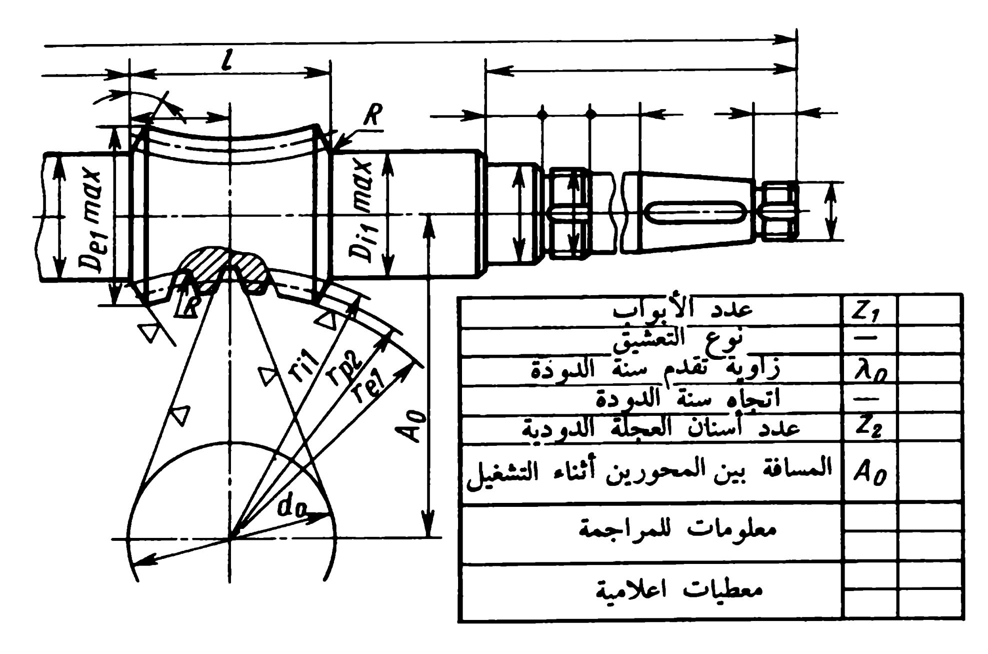
الجدول ١٨ - ١

صيغ تعيين بعض أبعاد وسائل نقل الحركة بالدودات شبه الكروية

عناصر التعشيق	الدودة	العجلة الدودية
القطر الحسابى	$d_{des\ 1} = qm$	$d_{des\ 2} = z_2 m$
المود يول	$m = \frac{2A}{z_2 + q}$	
السمك النسبى للدودة	$q \leqslant 6-8 \quad 7-10 \quad 8-11 \quad 9-13$	$z_2 \leqslant 40 \quad 41-50 \quad 51-60 \quad 61-100$
قطر دائرة التشكيل		$d_0 = \frac{A}{1.6}$
قطر دائرة قمم الاسنان	$D_{e1} = D_{i1} + 2h_1$	$D_{e2} = d_{des\ 2} + 2h_2'$
قطر الجذر	$D_{i1} = 2A - D_{e2} - 2c$	$D_{i2} = d_{des\ 2} - 2h_2''$
ارتفاع رأس سنة الدودة أو العجلة	$h_1' = (0.5 - 0.6)h_1$	$h_2' = h_1'' - c$
ارتفاع جذع سنة الدودة أو العجلة	$h_1'' = h_1 - h_1'$	$h_2'' = h_1' + c$
ارتفاع سنة الدودة أو العجلة	$h_1 = (1.6 - 1.8)m$	$h_2 = h_1$
الخلوص القطرى	$c = 0{,}1h_2$	
طول الدودة	$l = d_{des\ 2} \sin \alpha_{des}$	
زاوية تقدم سنة الدودة فى منتصف الشكل الكروى الحسابى	$\lambda_{des} = \arctan \frac{d_{des\ 2}}{i d_{des\ 1}}$	
نصف قطر النتوءات فى المستوى المنصف	$r_{e1} = A - 0.5D_{e1}$	$r_{e2} = 0.53D_{i\ 1\ max}$
نصف قطر الجذر فى المستوى المنصف	$r_{i1} = A - 0.5D_{i1}$	
اكبر قطر جذر للدودة	$D_{i1\ max} = 2(A - \sqrt{r_{i1}^2 - 0.25\ l^2})$	
الزاوية العاطلة للتماس مع العجلة		$2\alpha_{des} = \frac{360}{z_2}(z' - 0.5)$

النيكلى ОНФ . اما البرونز القصديرى الفسفورى ОФ 10–1 فانه يتمتع بخواص اردأ قليلا من خواص البرونز القصديرى النكل هذا. وتستخدم بنجاح البرونز ذات نسبة القصدير المنخفضة ОЦС 5-5-5 ، ОЦС 6-6-3 وغيرهما. ويمكن أيضا استخدام البرونز АЖ 9-4 عندما تكون سرعة الانزلاق v_{sl} أقل من ١٠ أمتار/ثانية، الا أن الحمل المسموح به فى هذه الحالة يكون أقل منه فى حالة العجلات المصنوعة من أنواع البرونز القصديرى. ويعطى استخدام النحاس ЛМцС 58-2-2 , ЛМцОС 58-2-2-2 نتائج مرضية.

تصميم الدودات والعجلات. عند تصميم الدودات والعجلات فى وسائل نقل الحركة بالدودات شبه الكروية (الشكل ١٨ – ٥ و ١٨ – ٦) يمكن الاسترشاد بالتوصيات المعطاة لوسائل نقل الحركة بالدودات الاسطوانية.



الشكل ١٨ – ٥

عدد الاسنان		z_2	
نوع التعشيق			
الدودة المعشقة	عدد الابواب	z_1	
	اتجاه سنة الدودة		
المسافة بين المحورين أثناء التشغيل		A_0	
معلومات للمراجعة			
معطيات اعلامية			

الشكل ١٨ – ٦

ودقة التصنيع والتجميع تبدى تأثيرا كبيرا على مقدرة عمل وسائل نقل الحركة بالدودات شبه الكروية .

وعند تجميع وسائل نقل الحركة، يكون من المهم الاحتفاظ المسافة بين المحورين ، وبوضع الدودة على طول محورها ، وبالمستوى المنصف للعجلة الدودية بالنسبة لمحور الدودة فى حدود معينة. والتسامحات المقترحة فى تجميع وسيلة نقل الحركة، وكذلك عند تصنيع الدودة شبه الكروية وعجلتها واردة فى المراجع الخاصة.

حساب وسائل نقل الحركة بالدودات شبه الكروية

معايير الحساب . تعتبر المعايير الاساسية فى تقييم مقدرة وسيلة نقل الحركة بالدودة شبه الكروية هى مقاومة أسنان عجلتها للتآكل بالاحتكاك وكذلك نظامها الحرارى . لذلك فان الغاية من الحساب تكمن فى تعيين ابعاد الوسيلة (المسافة بين المحورين A)، بحيث يكون أسنان العجلة أثناء العمل تحت الحمل وبعد انتهاء فترة التليين تأكل ، معتدلا بالاحتكاك. أما درجة حرارة حمام الزيت فلا تتعدى الحد المسموح به، والذى جرى تعيينه بطرق تجريبية .

والمقدرة على الحمل فى وسيلة نقل الحركة بالدودة شبه الكروية لا تعتمد على الموديول ، وذلك بفضل اشتراك حوالى $\frac{1}{7}$ عدد أسنان العجلة فى التعشيق فى آن واحد ، فى الوقت الذى تكون فيه احيانا القوة الناشئة اثناء التعشيق فى حالة وسيلة نقل الحركة بالدودة الاسطوانية مسلطة على سنة واحدة فقط من أسنان العجلة. ولذلك، فليس هناك ما يدعو لاجراء الحسابات بغية تلافى احتمال تكسر الاسنان .

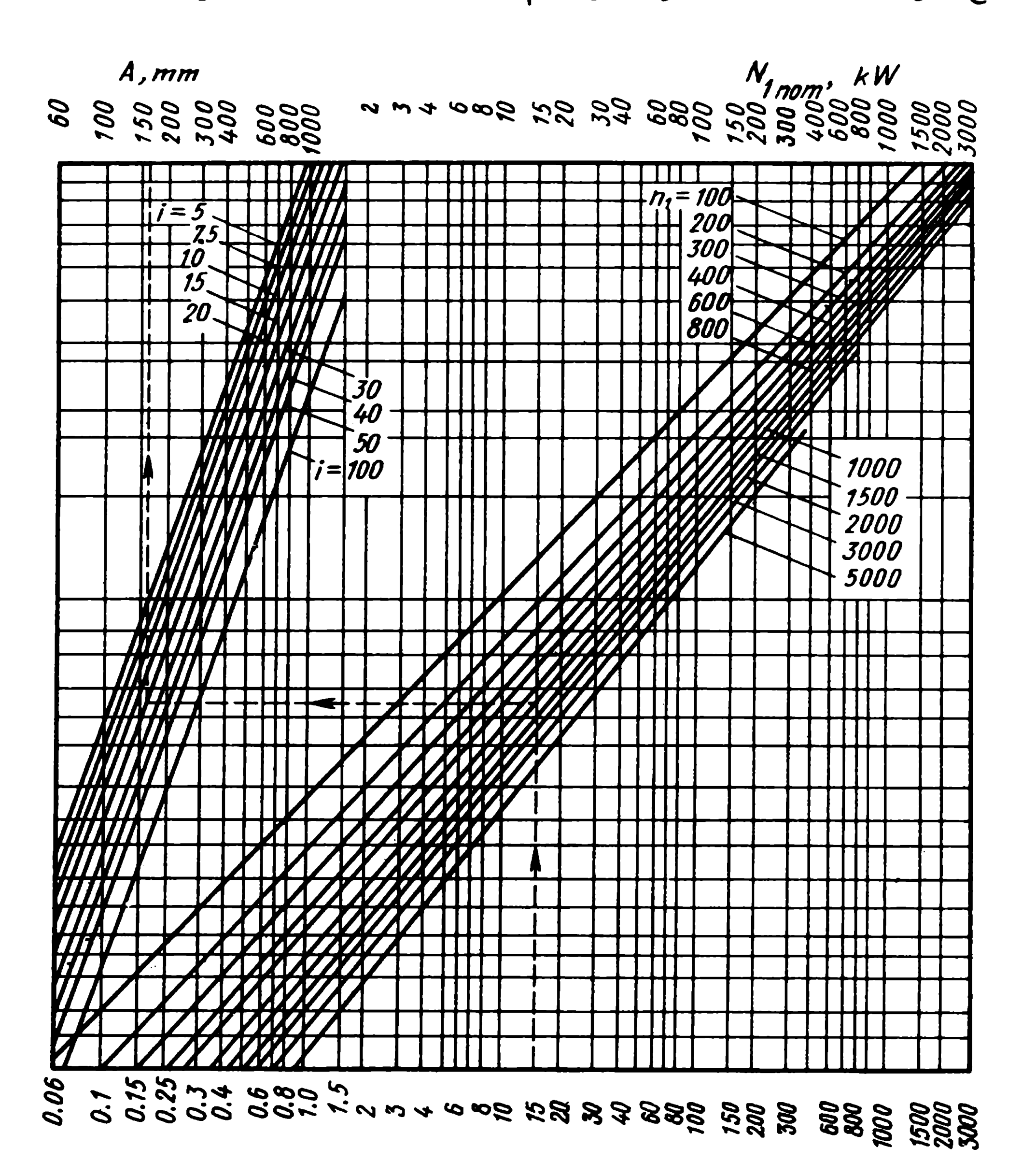
القوى المؤثرة فى التعشيق . يمكن بشكل تقريبى تعيين القوى المؤثرة فى التعشيق فى حالة نقل الحركة بالدودة شبه الكروية من الصيغ المناسبة فى حساب وسائل نقل الحركة بالدودة الاسطوانية: (17.6) ،(17.7)، (17.8) . وبنفس هذه الشروط يحسب جسم الدودة على المتانة (انظر ص ٤٣٢) .

حساب المقدرة على الحمل. تحدد القدرة التى تنقلها وسيلة نقل الحركة بالدودة شبه الكروية من الصيغة التى يحصل عليها على أساس تعميم خبرة استخدام وسائل نقل الحركة تحت ظروف مختلفة وحسب المعطيات التجريبية .

$$N_1 = N_{1n} k_{mat} k_{ac} k_{con}, \tag{18.1}$$

حيث N_{1n} - قدرة وسيلة نقل الحركة ذات الدقة العادية والمزودة بعجلة مصنوعة من البرونز ОФ-10-1 أو ОНФ فى حالة التشغيل الهادئ المستمر على مدى ٢٤ ساعة (الشكل ١٨ - ٧)؛

$k_{mat} k_{ac} k_{con}$ - معاملات تأخذ في الاعتبار تأثير مادة العجلة ودقة صنع وسيلة نقل الحركة ونظام تشغيل الوسيلة.



الشكل ١٨ - ٧

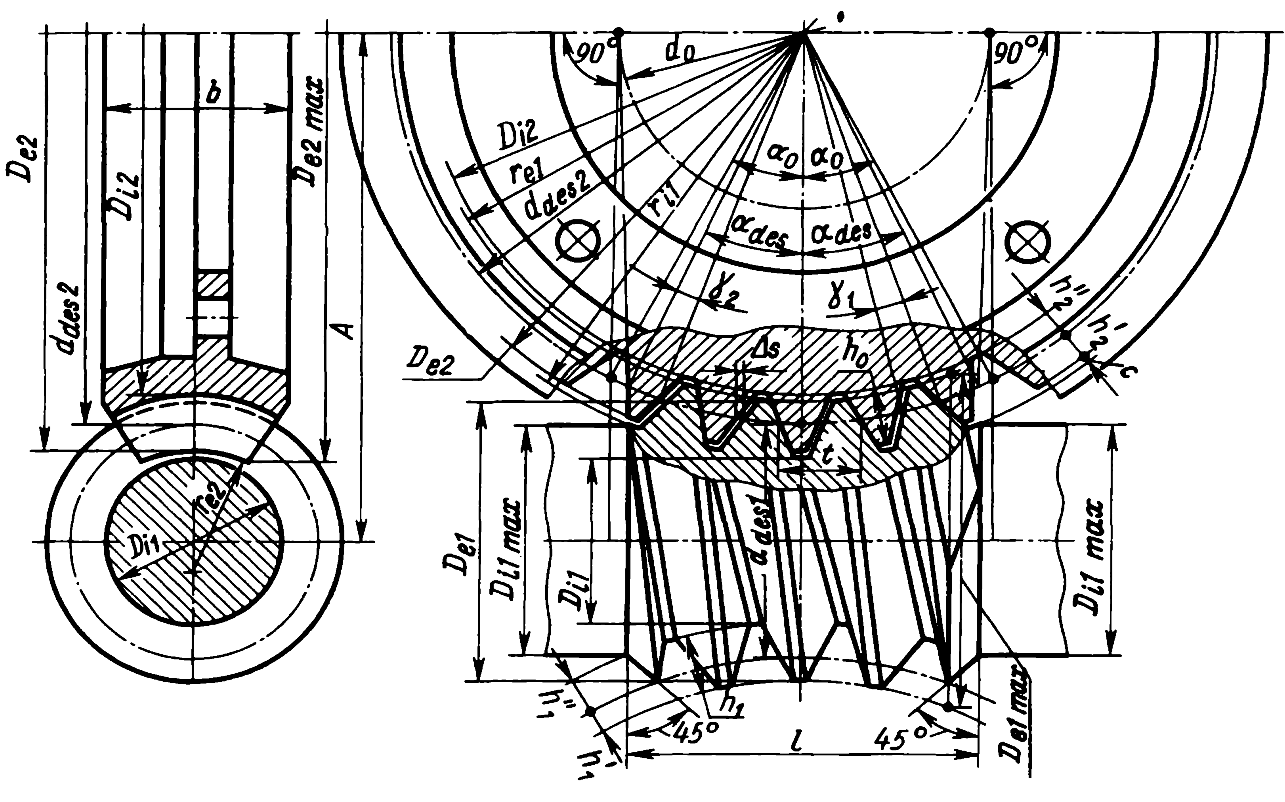
ومعامل المادة بالنسبة لانواع البرونز المشار اليها أعلاه والعاملة **بالتزاوج** مع دودة Rc 32-38 يساوى واحدا صحيحا، وبالنسبة لنفس الدودة العاملة مع عجلة من البرونز ОЦС 6-6-3 فان هذا المعامل يبلغ ٩ر٠ ، اما بالنسبة للبرونز АЖ 9-4 (وما شابهه) فان المعامل k_{mat} يتراوح بين ٧ر٠ و ٨ر٠ .

وفى حالة الدقة العالية تصل قيمة المعامل k_{ac} الى ١ر١، اما عند الدقة العادية والمنخفضة فان قيمة المعامل k_{ac} تبلغ ٠ر١ و٥ ٨ر٠ على التوالى .

وفى حالة التشغيل الهادئ المستمر على مدى ٢٤ ساعة تكون قيمة المعامل مساوية للواحد الصحيح وفى حالة التشغيل غير المستمر مع

وجود دفعات وصدمات خلال ٨ - ١٠ ساعات فى غضون كل ٢٤ ساعة فان قيمة المعامل k_{con} تبلغ ٠ر٨٥ ، وللتشغيل المستمر على مدى ٢٤ ساعة مع وجود حمل صدمات تكون قيمة المعامل k_{con} = ٠ر٧٥ ، وللتشغيل الدورى (التشغيل على مدى ١٥ دقيقة - والتوقيف ساعتان واكثر) تبلغ من قيمة المعامل k_{con} = ٤ر١ .

وترد فى الفصل الحادى والعشرين ارشادات اجراء حساب ارتفاع درجة الحرارة.



الشكل ١٨ - ٨

<u>حساب الابعاد الهندسية الاساسية.</u> بعد تعيين المسافة بين المحورين حسب الحمل ونسبة نقل السرعة يقرب المقدار (A) الى القيمة المقدرة ثم يجرى تعيين أبعاد العناصر الاساسية لوسيلة نقل الحركة .

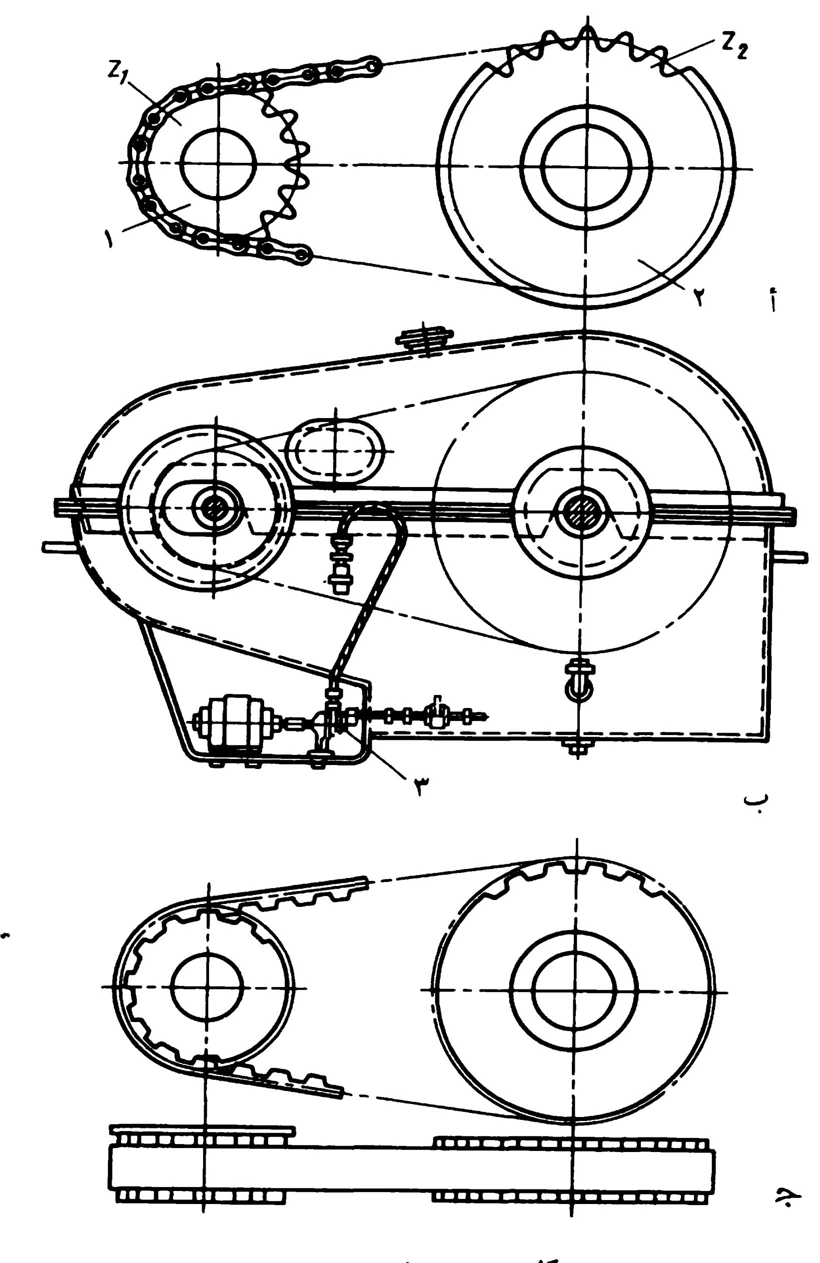
اما بالنسبة لأبعاد العجلة والدودة الاساسية (الشكل ١٨ - ٨) فتحسب بالصيغ الواردة فى الجدول ١٨ - ١ .

الباب التاسع عشر

نقل الحركة بالسلاسل

معلومات عامة

التركيب . تتكون وسيلة نقل الحركة بالسلاسل فى أبسط أشكالها من سلسلة ونجمتين ، قائدة ١ ، ومنقادة ٢ (الشكل ١٩ - ١ ، أ) . ووسائل نقل الحركة العاملة بأحمال كبرى وسرعات كبرى تركب فى صندوق وتزود بأجهزة شادة وأدوات للتزييت ٣ (الشكل ١٩ - ١ ، ب) . ودوران العمود المنقاد



الشكل ١٩ - ١

من القائد تحقق بواسطة شد النجمة القائدة للسلسلة. ويدخل فى عداد هذا النوع من نقل الحركة بالتعشيق أيضا وسيلة نقل الحركة التى يستخدم فيها سير مسنن كعضو مرن. وفى هذه الحالة ينقل الجهد المحيطى بواسطة الشد فى السير المعشق بأسنان مقطعها شبه منحرف مع بكرات لها تجاويف بنفس الشكل (الشكل ١٩ - ١، جـ). وفى بعض المراجع يجرى اعتبار هذه الوسيلة ضمن وسائل نقل الحركة بالسيور.

المزايا والعيوب. تعتبر المزايا الاساسية لنقل الحركة بالسلاسل هى : قابليتها للاستعمال فى حالة المسافة الكبرى بين الاعمدة ($A_{max}=5m$)؛ معامل الكفاية العالى بدرجة كافية؛ اذ يصل معامل الكفاية η الى ٩٨ر٠؛ الحمل على الاعمدة الاقل من نظيره فى حالة نقل الحركة بالسيور، امكانية نقل الحركة الدورانية الى عدة أعمدة بواسطة سلسلة واحدة.

ولقد حصلت على اكبر انتشار وسائل نقل الحركة بالسلاسل التى تصل قدرتها الى ١٠٠ كيلوواط (وهناك وسائل لنقل الحركة - بقدرات تصل الى عدة الاف من الكيلوواطات)، وسرعاتها (المحيطية v الى ١٥ مترا/ ثانية، ونسب نقل السرعة $i \leqslant 8$. وهى تستخدم فى الماكينات الزراعية وفى الدراجات الهوائية والدراجات النارية وفى ادارة الآليات - المساعدة فى معدات الدلفنة وماكينات التشغيل والناقلات فى ماكينات الفحم المجمعة ومعدات استخراج البترول وغيرها من الماكينات.

وعيوب وسائل نقل الحركة بالسلاسل هى : تكاليفها العالية نسبيا، عدم الانتظام نوعا ما فى سير وسيلة نقل الحركة، ضجيجها، ضرورة مراعاة الدقة العالية اثناء اجراء عمليات التجميع وكذلك أثناء خدمتها، عدم صلاحية وسيلة نقل الحركة للاستعمال فى حالة الحركة العاكسة الدورية بدون فترات توقف عند تغيير اتجاه الحركة.

التصنيف. يجرى تصنيف وسائل نقل الحركة بالسلاسل : حسب نوع السلاسل المستخدمة فيها (سلاسل بالاسطوانات أو الجلب أو الاسنان)؛ وحسب السرعات (مخفضات للسرعة أو رافعات لها)؛ وحسب عدد السلاسل الناقلة للحمل (فى صف واحد أو متعددة الصفوف)؛ وحسب عدد النجمات المنقادة بالسلسلة (اعتيادية، اى بنجمة منقادة واحدة، وخاصة - بعدة نجمات منقادة). ويمكن صنع وسائل نقل الحركة بالسلاسل اما مكشوفة أو مغطاة بغطاء واق أو مغلقة فى صناديق.

أجزاء وسائل نقل الحركة بالسلاسل

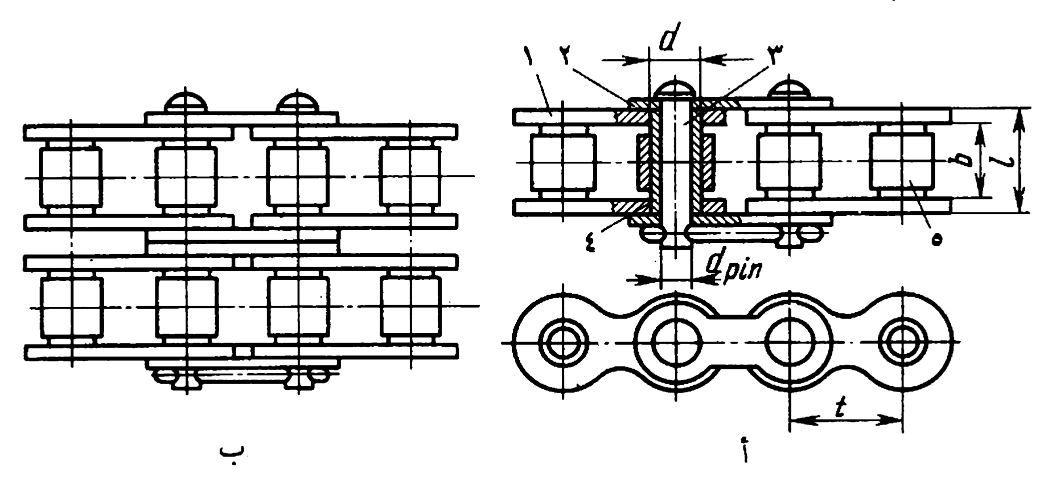
السلاسل . تعتبر السلسلة الناقلة فى وسيلة نقل الحركة هى **العنصر** الاساسى فيها والذى يحدد مدى كفاءتها وتحملها. وهى تتكون من حلقات متصلة ببعضها مفصليا. وتصنع السلاسل فى مصانع

متخصصة. وتركيب وأبعاد ومواد السلاسل وخواصها الميكانيكية ودقتها تنظم بالمواصفات أو القواعد القياسية.

وقوة التحطيم تعتبر ميزة لمتانة السلسلة، وتحدد قيمتها بالتجربة من المصنع القائم بتصنيعها وتنظمها المواصفات القياسية. وتعتبر خطوة السلسلة t وعرضها b هما المواصفتين الاساسيتين للسلاسل، اذ تختار الاخيرة بناء على هذين البعدين.

وقد تم تعيين مواصفات قياسية خاصة للسلاسل الناقلة للحركة، ذات الاسطوانات والجلب. وبناء على هذه المواصفات تصنع سلاسل من أنواع مختلفة: الناقلة للحركة وذات الاسطوانات، ذات الصف الواحد الاعتيادية (ПР)، والناقلة للحركة وذات الجلب، ذات الصف الواحد والمقواة (ПРУ)، والناقلة للحركة وذات الجلب، ذات الصف الواحد (ПВ)، والناقلة للحركة وذات الاسطوانات، ذات الصف الواحد الثقيلة من طراز (ПРТ)، وما الى ذلك. وعلاوة على السلاسل ذات الصف الواحد تنتج أخرى ذات الصفين، أو ثلاثة صفوف أو أربعة، أو خمسة، أو ستة.

والسلسلة ذات الاسطوانات (ПР) تتكون من حلقات متبادلة داخلية ١ وخارجية ٢ (الشكل ١٩ - ٢،أ)، تتصل فيما بينها مفصليا، وكل



الشكل ١٩ - ٢

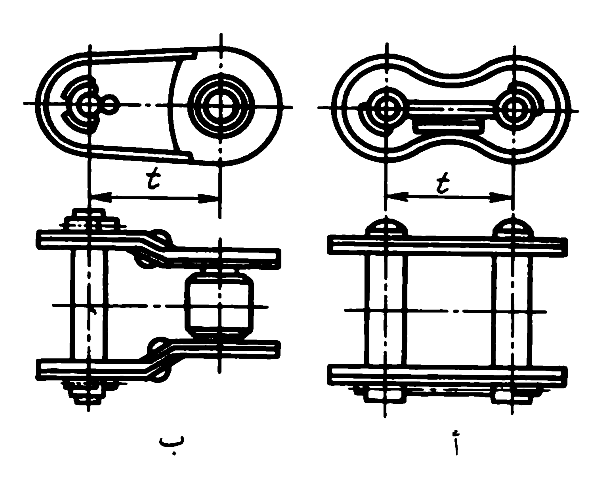
مفصل يتكون من محور (تيلة) ٣ قطره d ،مثبت بالكبس فى الالواح الخارجية، وجلبة ٤ مثبتة فى فتحات الالواح الداخلية. وتستخدم الاسطوانة ٥ فى تقليل تآكل أسنان نجمة السلسلة بالاحتكاك وتؤخذ مساحة المسقط القطرى لسطح التماس فى المفصل $F = db$:

وتوصل نهايتا السلسلة بحلقة اضافية قابلة للفك: وتكون حلقة اعتيادية عندما يكون عدد حلقات السلسلة زوجيا، (الشكل ١٩-٣،أ)، وحلقة خاصة عندما يكون عدد الحلقات فرديا (الشكل ١٩ - ٣، ب).

والسلاسل ذات الجلب (ПВ) تختلف عن ذات الاسطوانات بأنها تخلو من الاسطوانات، ولذا فوزن السلاسل ذات الجلب يكون أقل، الا أن عدم وجود الاسطوانات يؤدى الى تزايد تآكل اسنان نجمات

السلاسل بالاحتكاك لوجود الانزلاق بين الاسنان والجلب .

ولنقل القوى الكبرى يلجأ الى استخدام سلاسل ذات خطوة اكبر ؛ وفى هذا تكون أقطار تروس السلاسل كبيرة، ولتقليلها ولاستخدام سلاسل ذات خطوة أقل تستخدم سلاسل متعددة الصفوف (الشكل ١٩-٢، ب). وتجمع من أجزاء السلاسل الاعتيادية أحادية الصف، فيما عدا المحاور حيث تكون أطوالها مساوية للعرض الكلى للسلسلة. وفى الغالب تستخدم السلاسل ذات الصفين (2ПР)، والثلاثة (3ПР).

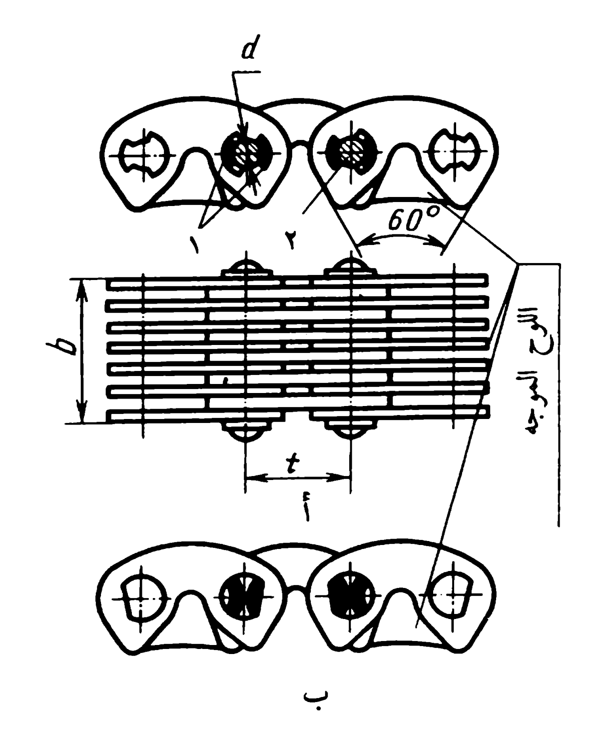


الشكل ١٩ - ٣

وعندما تعمل وسيلة نقل الحركة تحت حمل صدمات (عند عكس اتجاه الحركة أو وجود دفعات) ، يوصى باستخدام سلسلة ذات ألواح مقوسة (ПРИ) وهى تتكون من حلقات مشابهة لحلقة الوصل (الشكل ١٩-٣،ب) ، وبفضل ذلك يظهر فى الالواح انحناء يعطى للسلسلة مطيلية عالية. ويساعد تشويه الالواح على كبت الصدمات الناتجة عن دخول السلسلة فى التعشيق مع النجمة ، ونتيجة لذلك تخف الصدمات المنقولة الى العمود الثانى.

ولضمان مقدرة عمل كافية للسلسلة يجب أن تتمتع المواد المصنوعة منها أجزاؤها بمقاومة عالية للتأكل بالاحتكاك وبمتانة عالية، مما يتوفر باستخدام صلب كربونى أو سبائكى سبق وان تعرض للمعاملة الحرارية للحصول على صلادة Rc فى حدود ٣٥-٤٥. ويستخدم لصنع الالواح صلب من نوعى 50, 40X ، وللمحاور والجلب 20, 20Г, 20X وغيرها ، ومع توفر صلادة Rc تتراوح بين ٥٤ و٦٢؛ وللاسطوانات، صلب 60Г مع صلادة Rc تتراوح بين ٤٧ و ٥٥ .

والسلاسل المسننة (الشكل ١٩-٤، أ) تتكون من عدة ألواح مسننة ومتصلة ببعضها مفصليا بتتابع معين. ومزايا تلك السلاسل هى نعومة التشغيل وانعدام الضوضاء وامكانية استخدامها للسرعات العالية. والسلاسل المسننة فى تصميمها اكثر تعقيدا من السلاسل ذات الاسطوانات، كما أنها غالية الثمن وتتطلب رعاية جيدة. وتعتبر الجوانب الخارجية للنتوءات المسننة فى الالواح هى الاسطح العاملة فى

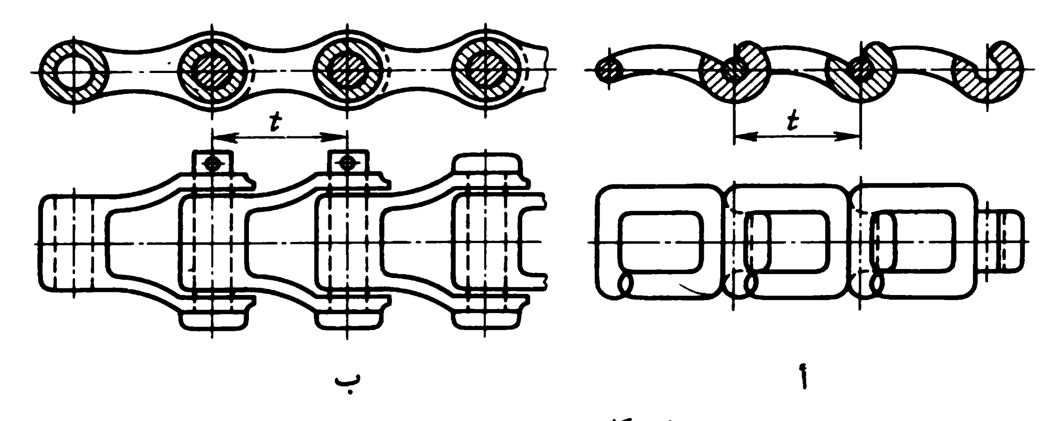


الشكل ١٩ - ٤

السلاسل المسننة ؛ لذلك فلتوفير مقاومة كافية للتآكل بالاحتكاك تقسى الاسطح العاملة فى الالواح حتى تصل صلادتها Rc الى ٤٠ - ٤٥ .

ولتلافى ازاحة السلسلة المسننة أثناء التشغيل على طول محور النجمة، تزود بألواح موجهة. ويوصى للسرعات الصغيرة باستخدام لوحين موجهين جانبيين ، أما للسرعات الكبيرة فيوصى باستعمال اللوحين المتوسطين لذلك الغرض. ويجب أن تحوى أسنان النجمة على شقوب للالواح (أنظر الشكل ١٩ - ٧،د) وغالبا ما تتحدد مقدرة عمل السلسلة بتركيب مفاصلها . وتستخدم مفاصل احتكاك الانزلاق - بسيطة وذات جلب، وتستخدم أيضا مفاصل احتكاك التدحرج .

والمفصل البسيط يتكون من محور (تيلة) ،يتخلل الفتحات الدائرية للالواح الموصلة مع بعضها . والسلاسل ذات المفاصل البسيطة لا يمكنها أن تنقل قوى كبيرة حيث أن تآكلها كبير جدا . ولنقل القدرات الكبرى تستخدم سلاسل ذات مفاصل بجلب، وهى تتكون من جلبتين قطعيتين ١ ومن محور ٢ (الشكل ١٩ - ٤،أ) . وكل جلبة قطعية (طولها مساو لعرض



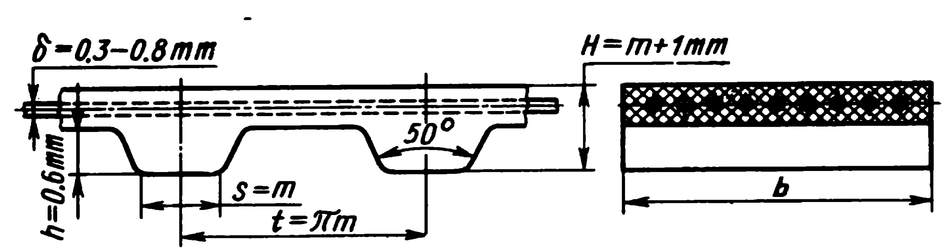
الشكل ١٩ - ٥

السلسلة) مثبتة تثبيتا جاسئا مع نصف الحلقات فقط. أما النصف الباقى من الحلقات فيمكنه أن يتحرك حركة حرة حول المحور فى حدود زاوية معينة (حوالى ٢٥°) وبفضل التجويف الزائد بالنسبة للجلبة المعنية. وبمساعدة هذه الجلب ينقل الضغط من أحد قطاعات الحلقات الى قطاع آخر على طول الجلبة كله. أما مساحة السطح القطرى $F = 0.7db$. ومن السلاسل ذات مفاصل احتكاك التدحرج يكون الفاقد فى الاحتكاك حسب ما ورد فى المواصفات القياسية (الشكل ١٩-٤،ب) ، أقل كثيرا من االفاقد فى السلاسل ذات المفاصل بالجلب.

وفى حالات القوى والسرعات غير الكبيرة (اقل من ٣ - ٤ أمتار فى الثانية) تستخدم سلاسل تكون حلقاتها مسبوكة بأشكال غير بسيطة ولا تعالج هذه الحلقات ميكانيكيا بعد السباكة. واكثر السلاسل انتشارا هى السلاسل الخطافية، والسلاسل ذات الجلب والمحاور. والسلاسل الخطافية (الشكل ١٩ - ٥،أ) تتكون من حلقات بأشكال خاصة فقط وبدون أجزاء اضافية . ويجرى توصيل الاجزاء مع ازاحتها الجانبية ومع ميل الحلقات احداها على الاخرى بزاوية تساوى ٦٠° تقريبا . والسلاسل ذات الجلب والمحاور

(الشكل ١٩ – ٥ ، ب) تجمع من حلقات بمساعدة محاور (مسامير) يثبت كل منها بواسطة تيلة مشقوقة. وحلقات السلسلة تصنع من حديد الزهر المطروق، أما المحاور فتصنع من الصلب. وتستعمل هذه السلاسل بتوسع فى بناء الماكينات الزراعية.

السيور المسننة. وتصنع من المطاط أو اللدائن (البلاستيك) مع تزويدها بأسلاك معدنية (الشكل ١٩ – ٦). والابعاد الاساسية للسير



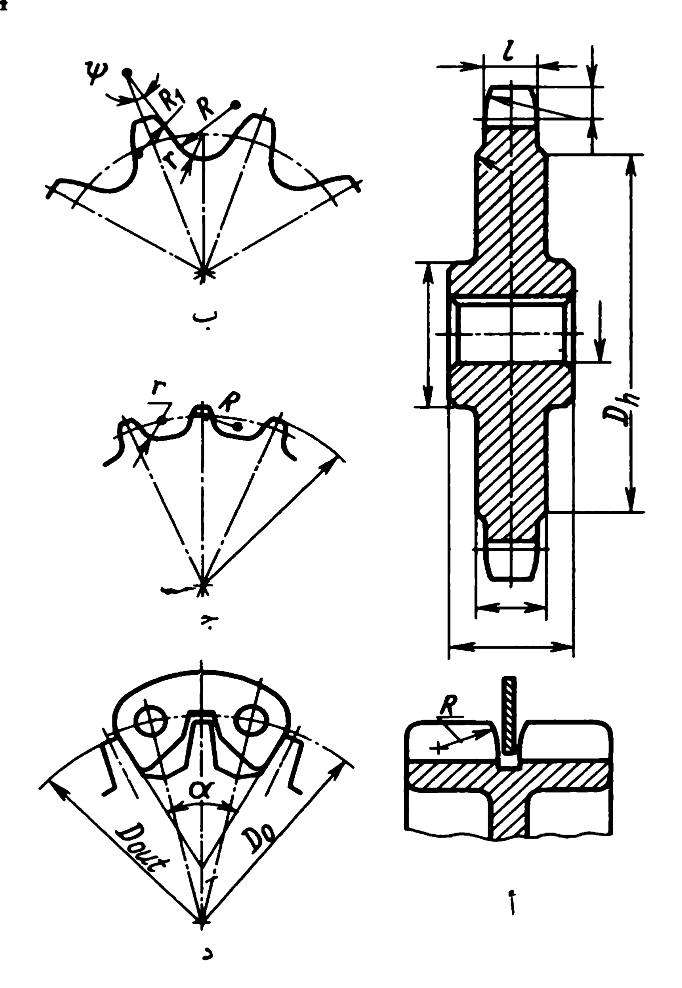
الشكل ١٩ – ٦

تحدد بالموديول (حسب القاعدة OH 6-07-5-63 ، m = ٢ ، ٣ ، ٤ ، ٥ ، ٧ مم).

النجمات. تعتمد مقدرة العمل لوسيلة نقل الحركة بالسلاسل بدرجة كبرى على جودة نجماتها. ودقة تصنيع عناصر النجمة ونوعية سطح أسنانها لها أهمية خاصة، وكذلك المادة المصنوعة منها ومعاملتها الحرارية. وتصنع النجمات (الشكل ١٩ – ٧، أ) من الحديد الزهرСЧ 18-36 СЧ 21-40 ، СЧ 24-44 ، СЧ 28 – 48)ومن أنواع الصلب المعالج بالتقسية الاسمنتية ثم بالتقسية العامة (15X ، 40)، أو من الصلب القابل للتقسية 40 ، 40X ، وغيرها).

وتشكل أسنان نجمة السلاسل تبعا لنوع السلسلة: فللسلاسل ذات الاسطوانات (الشكل ١٩–٧ ، ب) – باشكال منحنية. وللسلاسل المسننة يكون شكل الاسنان محددا بخطوط مستقيمة (الشكل ١٩–٧، د) بزاوية تعشيق ثابتة مع السلسلة $\alpha = 60°$.

وللسلاسل ذات الحلقات بأشكال خاصة، والسلاسل ذات الجلب تستخدم نجمات ذات أسنان مسبوكة وغير معالجة ميكانيكيا بعد السباكة، وهى من الحديد الزهر الرمادى المعالج بالتقسية حتى صلادة HB تتراوح بين ٢٨٠ و٤٢٠ (الشكل ١٩ – ٧ ، جـ).



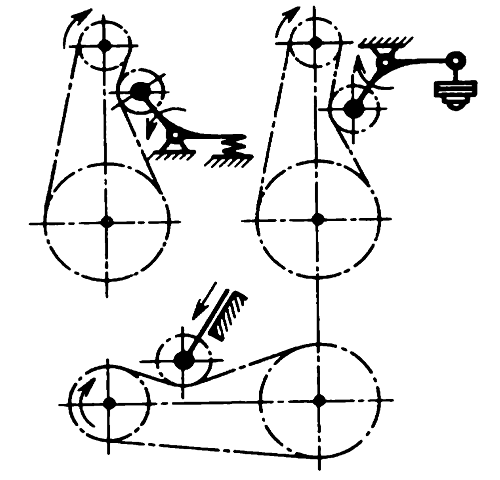
الشكل ١٩ – ٧

وترد في المواصفات القياسية المعنية أو في القواعد ، الخاصة، ارشادات حول أبعاد عناصر الاسنان لتكوين شكلها .

وبكرات وسائل نقل الحركة بالسيور المسننة تصنع من الصلب والحديد الزهر والبلاستيك . وتنفذ هذه البكرات بحواف بغرض تلافي افلات السير من فوق بكرته (انظر الشكل ١٩ - ١ ، جـ) .

الصندوق وأجهزة الشد . وظيفة الصندوق هي وقاية وسيلة نقل الحركة من الاتربة والمحافظة على تزييتها . وينفذ بأقل الابعاد على أن يبقى بين الجدار الداخلي للغلاف وبين السلسلة خلوص لا يقل عن $t + 30$ mm. في مستوى النجمتين وما لا يقل عن ٣٠ مم على طول محور الاعمدة .

وصندوق وسيلة نقل الحركة يتكون من جسم وغطاء مسبوكيـــن أو ملحومين من ألواح صلب . ويجب أن يراعى في الصندوق وجود فتحات ذات أغطية للكشف عن وسيلة نقل الحركة. ولا يجب أن يعيـــث الصندوق ضبط المسافة بين المحوريـــن اللازم لشد السلسلة.



الشكل ١٩ - ٨

وتنظيم ارتخاء السلسلة، وتكوين الشـــد اللازم يمكن اجراؤهما عن طريق تحريـــك الركائز أو بواسطة اجهزة شد . وفـــي العادة يمكن بمساعدة أجهزة الضبـــط، تعويض استطالة السلسلة حتى قيمـــة مساوية لطول حلقتين منها ، وبعدهـــا تستبعد من السلسلة حلقتان ، ويرجـــع الجهاز الى وضعه الابتدائي .

والركائز القابلة للحركة لها شكل الدليل المنزلق وتركب فيها كراسي محاور عمـــود النجمة. واذا أديرت وسيلة نقل الحركـــة بواسطة محرك كهربي ، يركب الاخير على لوحة تأرجع أو على ســـرج . وعندما يستحيل تغيير المسافة بين المحورين ، تستخدم الاجهـــزة الشادة (الشكل ١٩ - ٨) .

وأجهزة الشد حسب طابع تأثير القوى على السلسلة يمكـــن أن تكون ذات تأثير دائم (حيث يتم التوصل لضغط النجمـــة عليها باستعمال قوة المرونة في ياى أو ثقل) أو ان تنظم دوريا ، عند تغيير أوضاع نجمتي السلسلة عند الحاجة حيث يحرك محورها بالمقدار المناسب . ويجرى تركيب النجمة بعد تنظيمهـــا علـــى الفرع المنقاد من السلسلة في أماكن أكبر ارتخاء بالنسبة للنجمـــة القائدة، علما بأن قطرها يكون اكبر من قطر النجمة الاصغر فـــي وسيلة نقل الحركة ، ويجب أن تدخل التعشيق بما لا يقل عـــن ثلاثة أسنان في ثلاث حلقات للسلسلة.

أسس نظرية وعمل الوسيلة

عملية نقل الحمل . ينقل الحمل المحيطى فى وسيلة نقل الحركة بالسلاسل بواسطة قوى ضغط أسنان النجمة القائدة على حلقات السلسلة وبعدها بضغط حلقات الفرع القائد من السلسلة على أسنان النجمة المنقادة . وفى نطاق زاوية تماس النجمة مع السلسلة تتغير القوة فى الفرع القائد ، حيث أنها تنتقل الى أسنان النجمة الموجودة فى تعشيق مع السلسلة.

وعند تشغيل وسيلة نقل الحركة بالسلاسل بدون حمل يشترط الشد فى فرعى السلسلة بالارتخاء بتأثير الوزن الذاتى للاخيرة (الشكل ١٩ - ٩) . والشد S_2 عندما يكون وزن المتر الطولى من السلسلة q ، وعندما يكون سهم الارتخاء f ، يمكن تعيينه بالتقريب من شرط اتزان السلسلة بالصيغة :

$$S_2 f = q\,\frac{A}{2}\cdot\frac{A}{4},$$

ومنها :

$$S_2 = \frac{qA^2}{8f}. \qquad (19.1)$$

وفى المعتاد يكون شد الفرع المنقاد مساويا للشد الناتج من الارتخاء S_2 وهو أقل من ١٠ ٪ من القوة المحيطية P .

الشكل ١٩ - ٩

ونتيجة لكون حلقات السلسلة موزعة حول النجمة على أضلاع مضلع متعدد الاركان ، فان السرعة الحقيقية للسلسلة تكون غير ثابتة وتتغير مع زمن دخول الحلقة التعشيق ، مما يؤدى الى حدوث قوى ديناميكية فى السلسلة. وعند دوران النجمة التى تدور بانتظام بسرعة زاوية تساوى ω_1 ، بزاوية $0.5\varphi_1 - \beta$ (الشكل ١٩ - ١٠) ، تتخذ الحلقة الوضع ٢ بعد أن كانت فى الوضع ١ عند بداية التعشيق . ويمكن عمليا اعتبار أن الحلقة تقوم بحركة خطية بسرعة مساوية للسرعة المحيطية v للنجمة ؛ أما سرعة تحرك السلسلة على نجمتها فتكون $v_{chain} = v\cos\beta = \omega_1 r_1 \cos\beta$.

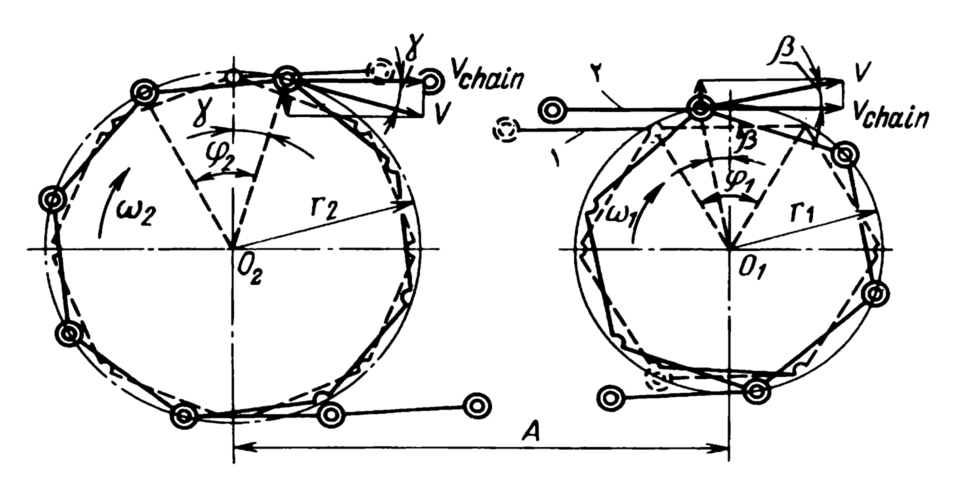
والسرعة الزاوية للنجمة المنقادة تكون

$$\omega_2 = \frac{v_{chain}}{r_2 \cos \gamma} = \frac{\omega_1 r_1 \cos \beta}{r_2 \cos \gamma}$$

ومن هنا تكون النسبة اللحظية لنقل السرعة

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{r_2 \cos \gamma}{r_1 \cos \beta} .$$

واختلاف سرعة النجمة المنقادة يكون أقل كلما زاد عدد الاسنان على النجمة الاصغر. وعدم انتظام دوران النجمة المنقادة يؤثر تأثيرا سلبيا على مقدرة عمل وسيلة نقل الحركة - اذ تظهر فى السلسلة قوى ناشئة



الشكل ١٩ - ١٠

عن تسارعات (عجلات) دوران هذه السلسلة ومؤدية الى خلق اجهادات اضافية فى عناصر السلسلة.

وعند دخول المفصل التالى فى السلسلة الى التجويف بين سنتى النجمة تحدث صدمة؛ وتعتمد قوة هذه الصدمة على سرعتها. وللسلاسل ذات الاسطوانات تكون سرعة الصدمة أقل كلما قلت خطوة السلسلة t ، وزاد عدد أسنان النجمة. وسرعة صدمة السلسلة المسننة مع أسنان عجلتها لا تعتمد على عدد الاسنان ، كما أنها تساوى تقريبا نصف سرعة الصدمة فى السلاسل ذات الاسطوانات. ويفسر بذلك الضجيج الاقل كثيرا بالمقارنة بما تحدثه السلاسل ذات الاسطوانات .

التزييت والفاقد ومعامل الكفاية. تتكون فواقد القدرة فى وسيلة نقل الحركة بالسلاسل من الفقد الناشئ من جراء التغلب على جساءة السلسلة (الاحتكاك فى المفاصل، وبين ألواح الحلقات)، وعلى الاحتكاك بين السلسلة وأسنان نجمتيها وفى كراسى محاور الاعمدة وفى مقاومة حركة السلسلة فى الزيت.

واكبر الفواقد هو الفقد الناشئ من جراء التغلب على جساءة السلسلة (أى مقاومة الحركة الدورانية النسبية بين حلقات السلسلة). وهى لا تحدد فقط قيمة معامل الكفاية الكلية فحسب، بل أنها

تحدد أيضا من مقدرة الحمل فى وسيلة نقل الحركة. وعند تحـــرك السلسلة على نجمتها تحدث استدارة نسبية بين الحلقات يظهر مـــن جرائها الاحتكاك. وشغل الاحتكاك A_x فى مفصل السلسلة عنـــد حركته فوق النجمة (او خروجه منه) يتناسب مع القوة فى السلسلـــة ومع معامل الاحتكاك فى المفصل، ومع قطر محور المفصل، وزاويـــة الاستدارة النسبية بين حلقتى السلسلة.

والقوة المؤثرة على المفصل تعتمد على الحمل النافع، والشد فـــى الفرع المنقاد، والسرعة، وهى تتغير تبعا لحالة دخول السلسلة فـــى التعشيق مع النجمة أو لحالة خروجها منه.

وفقد القدرة بسبب الاحتكاك فى المفاصل

$$N_{l.j} = \frac{\Sigma A_x}{102\ T}, \tag{19.2}$$

علما بأن زمن الدورة الكاملة للسلسلة

$$T = \frac{yt}{100\ v}\ \text{sec},$$

حيث t ـ الخطوة بالسم؛ v ـ السرعة بالمتر/ثانية؛ y ـ عـــدد حلقات السلسلة.

ومعامل الكفاية التقريبى للوسيلة (عندما تكون القدرة المنقولـــة N، كيلووات)

$$\eta = \frac{N}{N + N_{l.j}}\left(\frac{N}{N + N_{l.st}}\right)\left(\frac{N}{N + N_{l.b}}\right). \tag{19.3}$$

والفقد فى تقليب الزيت $N_{l.st}$ يشكل ٤ ـ ٥ ٪ من الفقد فى المفاصـــل، أما الفقد فى كراسى المحاور $N_{l.b}$ ، فسيرد ذكره فى الصفحة ٥٥٢ .

والقيم المتوسطة لمعامل الكفاية فى وسائل نقل الحركة المنفذة تنفيـــذا جيدا يتراوح بين ٠ر٩٦ ÷ ٠ر٩٨ .

ويكون العمل الطبيعى لوسيلة نقل الحركة بالقيم الواردة لمعامـــل الكفاية ممكنا فقط عند وجود زيت تزييت فى مفاصل السلسلة وعلـــى أسنان نجمتيها. وتزييت السلسلة يمكن أن يكون دوريا أو مستمـــرا. والتزييت الدورى للسلسلة بمزيتة أو بفرشاة لا يعطى الاثر المرجـــو ويسمح به فقط للسرعات الاقل من ٤ أمتار/ثانية. اما بالنسبة للسرعات من ٤ ÷ ٦ أمتار فى الثانية يوصى بغمس السلسلة كلها فى زيـــت مسخن قليلا على فترات معينة.

ويتم التوصل لافضل ظروف التزييت عند التغذية الدائمة للزيت علـــى الفرع المنقاد فى الخلوص بين ألواح السلسلة ذات الاسطوانات أو بعرض السلسلة المسننة كله. وعند السرعة v = ٦ ÷ ٨ أمتار/الثانية يجب

أن زود وسيلة نقل الحركة بعلبة مملوءة بالزيت. والفرع الاسفل من السلسلة جب أن يكون مغموسا فى الزيت بما لا يزيد عن ارتفاع الالواح . واذا كانت v > ٨ أمتار فى الثانية يجب اجراء تغذية الزيت عن طريق مضخة أو بحلقات التزييت بالطرطشة وعواكس على الفرع السفلى للسلسلة فى المكان الذى تدخل عنده التعشيق.

ويختار نوع زيت التزييت تبعا لقيمة الضغط النوعى فى المفصل، وسرعة السلسلة وطريقة تزييتها (الجدول ١٩ - ١).

الجدول ١٩ - ١

القيم المفضلة للزوجة الكينماتيكية للزيت المستخدم فى وسائل نقل الحركة بالسلاسل عند درجة ٥٠° مئوية

الضغط النوعى فى مفصل السلسلة كجم/مم٢	v بالسنتيستوك عند سرعة السلسلة بالمتر/الثانية				
	> ١	١ - ٥	> ٥	> ٥	≫ ٥
	التزييت دوريا (اما يدويا أو بالخاصية الشعرية)			التزييت دائم (بعلبة زيت)	
١	٢٠	٣٢	٤٥	٢٠	٣٢
١ - ٢	٣٢	٤٥	٦٠	٣٢	٤٥
٢ - ٣	٤٥	٦٠	٨٠	٤٥	٦٠

أنواع تحطم وسائل نقل الحركة بالسلاسل . يعتبر التآكل بالاحتكاك وتحطم المفاصل، والتحطم الكلالى فى الالواح وتآكل أسنان النجمة بالاحتكاك، هى الاسباب الاساسية لخروج وسائل نقل الحركة بالسلاسل عن نطاق صلاحية التشغيل.

فنتيجة لتآكل المفاصل بالاحتكاك، الذى يحدث تحت تأثير قوى الشد والقوى الديناميكية، يحدث أثناء استخدام وسيلة نقل الحركة أن تزيد الخطوة وسحب السلسلة. ومع مرور الوقت تصبح خطوة السلسلة كبيرة بدرجة أن السلسلة تتخذ وضعا غير سليم على نجمتها، ويظهر خطر اختلال التعشيق وخروج السلسلة عن ترسها. وتؤكد الخبرة على أن الاستطالة الحدية فى السلسلة يجب الا تزيد عن ٣٪، أما للسرعات الاكبر من ٦ أمتار/ثانية فيجب أن تكون أقل من ذلك .

وتحت تأثير الصدمات المتكررة عند دخول السلسلة فى التعشيق مع أسنان نجمة السلسلة تحدث على أسطح الاسطوانات والجلب عملية تفتت؛ وعندما تكون قوة الصدمات كبيرة يمكن أن تشرخ الاسطوانات والجلب مع مضى الزمن .

تآكل الاسنان بالاحتكاك . ويحدث فى نجمة السلسلة نتيجة للحركة النسبية للاسطوانات أو الجلب على طول الاسنان تحت تأثير صدمات الحمل . وتآكل أسنان النجمة القائدة بالاحتكاك اكبر من أسنان النجمة المنقادة بسبب الصدمة الكبرى عند دخول مفاصل فرع السلسلة الداخل فى التعشيق .

حساب وسيلة نقل الحركة

معايير الحساب . تعتبر مقاومة المفاصل للتآكل بالاحتكاك ومتانة السلسلة الكلالية هما المعيارين الاساسيين لمقدرة عمل السلسلة.

وتعين بالحساب أبعاد السلسلة ونجمتها ، التى تكون وسيلة نقل الحركة قادرة عندها على العمل بالنظام المعطى وبدون وجود خطورة اصابة عناصرها بالاعطاب. والتوصيات الخاصة بالحسابات والصيغ قائمة على أساس تحليل تأثير مختلف العناصر على مقدرة عمل وسيلة نقل الحركة وكذلك على نتائج التجارب التى تصف هذا التأثير من جانبه الكمى .

وتعيين اجهادات التماس فى المفاصل p ،التى يجب أن تكون قيمتها أقل من الاجهادات المسموح بها

$$p = \frac{Pk_{con}}{F} [p]_0, \tag{19.4}$$

حيث P ـ القوة النافعة التى يمكن نقلها بالسلسلة ؛

F ـ مسقط سطح ارتكاز المفصل ؛

k_{con} ـ معامل يصف ظروف تشغيل وسيلة نقل الحركة.

القوى المؤثرة على السلسلة. ان قوة الشد المسلطة على فرع السلسلة القائد فى وسيلة نقل الحركة العاملة هى مجموع الحمل النافع P والشد فى فرع السلسلة غير الجار S_2 ، والشد الناتج عن قوى الطرد المركزى S_v والشد الناتج من الحمل الديناميكى نتيجة لعدم انتظام حركة السلسلة S_d :

$$S_1 = P + S_2 + S_v + S_d \tag{19.5}$$

والقوة المحيطية عندما تكون القدرة N بالكيلووات والسرعة المحيطية v بالمتر/ثانية.

$$P = \frac{102\,N}{v} \tag{19.6}$$

ويمكن تعيين الشد S_v فى السلسلة والناتج عن تأثير قوى الطرد

المركزى، من الصيغة (14.8) المعطاة لحالة وسائل نقل الحركة بالسيور، حيث أنه نتيجة لصغر الخطوة t بالمقارنة مع قطر نجمة السلسلة، يمكن اعتبار الاخيرة كشريط مرن .

ويعتمد الحمل الديناميكى على سرعة النجمة وعلى الكتلة الدائرة، وكتلة السلسلة وغيرها من العوامل. وترد فى المراجع المتخصصة طريقة تعيين هذا الحمل بدقة. ويمكن مع التقريب حساب هذه القوة كجزء من الجهد المحيطى، أى $S_d = \psi P$. وقيم المعامل ψ تتأرجح بين حدود واسعة - من ٣ر٠ حتى ٥ر١ .

كما ويمكن تعيين الضغط على ركائز الاعمدة بالتقريب من الصيغة

$$Q \approx P(1.2 + \psi). \tag{19.7}$$

أبعاد نجمات السلسلة. نتيجة لقلة اعداد اسنان النجمة يقل عمر تشغيل السلسلة ويزداد الضجيج الصادر من وسيلة نقل الحركة. وعدد أسنان النجمة الاقل يستحسن اختياره تبعا لنسبة نقل السرعة، بما يتفق والمعطيات الواردة من الجدول ١٩ - ٢ .

الجدول ١٩ - ٢

عدد أسنان النجمة الاصغر

نوع السلسلة	عدد أسنان النجمة لنسب السرعة					
	١	٢	٣	٤	٥	٦
ذات الاسطوانات	٣١	٢٧	٢٥	٢٣	٢١	١٧
مسننة	٤٠	٣٥	٣١	٢٧	٢٣	١٩

واذا كان من اللازم تقليل عدد الاسنان، يجب اختيار $z_{min} \geqslant 9$ بالنسبة للسلاسل ذات الاسطوانات، و $z_{min} \geqslant 13$ للسلاسل المسننة. وعدد أسنان النجمة المنقادة $z_2 = z_1 i$.

وأقصى عدد للاسنان يحدده مقدار سحب السلسلة. فمع زيادة خطوتها، تتوزع حلقاتها فوق ترسها على مسافة من مركز النجمة اكبر من مسافة حلقات السلسلة الجديدة. وابتعاد الحلقات بمسافات اكبر من اللازم عن المركز يسىء الى ظروف العمل ويمكن أن يؤدى الى الاخلال بالتعشيق مع نجمة السلسلة.

وعندما يكون معدل التآكل بالاحتكاك المسموح به Δt مساويا للنسبة ٢٥ر١ ٪ (أى $\Delta t/t = 0.0125$)، يجب الا يزيد العدد الاقصى z_{max} لأسنان السلاسل ذات الاسطوانات عن ١٢٠ سنة، وبالنسبة للسلاسل المسننة فلا يجب أن يزيد عن ١٤٠ سنة.

أبعاد السلسلة. يؤكد التحليل النظرى وخبرة استغلال وسائل نقل الحركة بالسلاسل، على أنه كلما كانت خطوة السلسلة أقل كانت ظروف تشغيل الوسيلة أفضل، حيث أنه عندما تتساوى باقى الظروف تقل طاقة الصدمة، وقوة الطرد المركزى، وشغل الاحتكاك. والجدول ١٩ - ٣ يوضح أعلى سرعات مسموح بها تبعا لنوع السلسلة وعدد أسنان النجمة الاصغر وخطوة السلسلة.

الجدول ١٩ - ٣

العدد الحدى للفات النجمة الاصغر فى الدقيقة بالنسبة للسلاسل المختلفة الأنواع

نوع السلسلة	عدد أسنان النجمة	n لفة/الدقيقة بالنسبة لخطوة السلسلة t بالمم (مقربة)				
		١٢	١٥	٢٠	٢٥	٣٠
ذات الاسطوانات	١٥	٢٦٥٠	١٩٠٠	١٤٥٠	٩٥٠	٦٩٠
	٢٥	٢٩٠٠	٢٠٧٠	١٥٨٠	١٠٣٠	٧٥٠
	٣٠	٣٠٠٠	٢١٥٠	١٦٥٠	١٠٧٠	٧٨٠
مسننة	١٧ - ٣٥	٣٣٠٠	٢٦٥٠	٢٢٠٠	١٦٥٠	١٣٠٠

وبعد اختيار السلسلة وعدد أسنان النجمة الاصغر، ومع معرفة سرعة الدوران، نوجد خطوة السلسلة من الجدول ١٩ - ٣، علما بأن متوسط السرعة المحيطية للترس يجب الا يزيد عن ١٢ مترا/الثانية للسلاسل ذات الاسطوانات، وعن ١٦ مترا/ثانية للسلاسل المسننة. وفى حالة تصنيع وسيلة نقل الحركة بدقة، والعناية بخدمتها، يسمح بسرعة للسلسلة تصل الى ٢٥ - ٣٠ مترا/ثانية بالنسبة للسلسلة ذات الخطوة $t < 12.7$ mm وعدد أسنان الاصغر $z_1 > 35$.

ومن الصيغة (19.4) نعين الجهد النافع المسموح به P_n ، الذى يجب أن يكون اكبر من الجهد المعطى

$$P_n = \frac{F\,[p]}{k_{con}} \geqslant P \qquad (19.8)$$

والضغط المسموح به $[p]$ بالكجم/مم٢ بالنسبة لظروف الاستخدام الاعتيادية، مبين فى الجدول ١٩ - ٤ .

والمعامل الذى يوصف ظروف لاستغلال الوسيلة موضع الحساب

$$k = k_d\, k_A\, k_{pos}\, k_{adj}\, k_{lub}\, k_{con} \qquad (19.9)$$

حيث k_d - معامل يأخذ فى الاعتبار ديناميكية تأثير الحمل، فللحمل الهادئ $k_d = 1$ ، وللحمل بالدفعات $k_d = 1.2 - 1.5$ ؛

k_A - معامل المسافة بين المحورين ؛ عندما تكون $A = (30 \div 50)t$ ، $k_A = 1$ ، وعندما تكون $A < 25t$ ، $k_A = 1.25$ ، وعندما تكون $A > 50t$ ؛ $k_A = 0,8$ ؛

k_{pos} - معامل يعتبر وضع وسيلة نقل الحركة ؛ فبالنسبة لميل خط مركزى النجمتين على المستوى الافقى بزاوية أقل من ٦٠° فان $k_{pos} = 1$ ، وفى الحالات الاخرى $k_{pos} = 1.25$ ؛

k_{adj} - معامل يعتبر امكانية ضبط المسافة بين محورى وسيلة نقل الحركة، فللوسائل ذات الضبط $k_{adj} = 1$ وللوسائل بدون ضبط للمسافة بين المحورين $k_{adj} = 1.25$ ؛

k_{lub} - معامل يعتبر طابع التزييت ؛ فللتزييت الدائم $k_{lub} = 0,8$ ، للتزييت بالنقط $k_{lub} = 1$ ، وللتزييت الدورى $k_{lub} = 1.5$ ؛

k_{con} - معامل يعتبر نظام عمل وسيلة نقل الحركة ؛ فللعمل بوردية واحدة $k_{con} = 1$ ، وبورديتين $k_{con} = 1.25$ ، وبثلاث ورديات $k_{con} = 1.45$.

وبالنسبة للسلاسل المسننة يعين الحمل النافع P_{10} عندما يكون عرض السلسلة ١٠ مم ، وبعدها يحدد عرض السلسلة $b = \frac{P}{P_{10}}$.

وأقل مسافة بين محورى النجمتين تختار تبعا لنسبة نقل السرعات بحيث أن قوس التماس على الترس الاصغر لا يقل عن ١٢٠° . وبالتقريب يمكن اعتبار أنه عندما تكون $i < 4$

$$A_{min} = 1.2 \frac{D_{out\,1} + D_{out\,2}}{2} + (30 \div 50) \text{ mm}, \tag{19.10}$$

حيث D_{out_1} ، $D_{out\,2}$ - الاقطار الخارجية للنجمتين . وفى العادة ينصح باختيار $A < 80t$.

وبعد الاختيار الابتدائى للمسافة بين المحورين ، تراجع المسافة A . وعدد حلقات السلسلة يمكن تعيينه من الشرط الوارد فى حالة نقل الحركة بالسيور ، اذا ما قسم الجزء الاول من صيغة L (فى العمود الاول من الجدول ١٤-٦) على خطوة السلسلة t :

$$\gamma = \frac{z_1 + z_2}{2} + \frac{2A}{t} + \left(\frac{z_2 - z_1}{2\pi}\right)^2 \frac{t}{A} \, . \tag{19.11}$$

وعدد الحلقات الذى عثرنا عليه من هذه الصيغة يقرب الى أقرب عدد زوجى . وتكون المسافة الدقيقة بين محورى النجمتين هى :

$$A = \frac{t}{4}\left[\gamma - \frac{z_1 + z_2}{2} + \sqrt{\gamma - \left(\frac{z_1 + z_2}{2}\right)^2 - 8\left(\frac{z_2 - z_1}{2\pi}\right)^2}\right] . \tag{19.12}$$

الجدول ١٩ - ٤

المقادير المسموح بها للضغط النوعي [p] عند $k_{con} = 1$

خطوة السلسلة مم	[p] بالكجم/مم٢ عندما تكون n_1 باللفة / الدقيقة											
	٥٠	٢٠٠	٤٠٠	٦٠٠	٨٠٠	١٠٠٠	١٢٠٠	١٦٠٠	٢٠٠٠	٢٤٠٠	٢٨٠٠	٣٢٠٠
	للسلاسل ذات الاسطوانات عندما $z_1 = 15 \div 30$											
١٢ر٧-١٥ر٨٧	٣ر٥	٣ر١٥	٢ر٨٧	٢ر٦٢	٢ر٤٢	٢ر٢٤	٢ر١٠	١ر٨٥	١ر٦٦	١ر٥٠	١ر٣٧	-
١٩ر٠٥-٢٥ر٤	٣ر٥	٣ر٠٠	٢ر٦٢	٢ر٣٤	٢ر١٠	١ر٩٠	١ر٧٥	١ر٥٠	-	-	-	-
٣١ر٧٥-٣٨ر١	٣ر٥	٢ر٨٧	٢ر٤٢	٢ر١٠	١ر٨٥	-	-	-	-	-	-	-
٤٤ر٤٥-٥٠ر٨	٣ر٥	٢ر٦٢	٢ر١٠	١ر٧٥								
	للسلاسل المسننة عندما تكون $z_1 = 17 \div 35$											
١٢ر٧-١٥ر٨٧	٢	١ر٨٠	١ر٦٤	١ر٥٠	١ر٤٠	١ر٣٢	١ر٢٠	١ر٠٥	٠ر٩٥	٠ر٨٦	٠ر٧٨	٠ر٧٢
١٩ر٠٥-٢٥ر٤	٢	١ر٧٠	١ر٥٠	١ر٣٢	١ر٢٠	١ر١٠	١ر٠٠	٠ر٨٦	٠ر٧٢	-	-	-
٣١ر٧٥	٢	١ر٦٤	١ر٤٠	١ر٢٠	١ر٠٥	٠ر٩٥	٠ر٧٢	-	-	-	-	-

وقيمة A الناتجة يجب تقليلها بمقدار ٢ ـ ٥ مم وذلك لتوفير ارتخاء السلسلة.

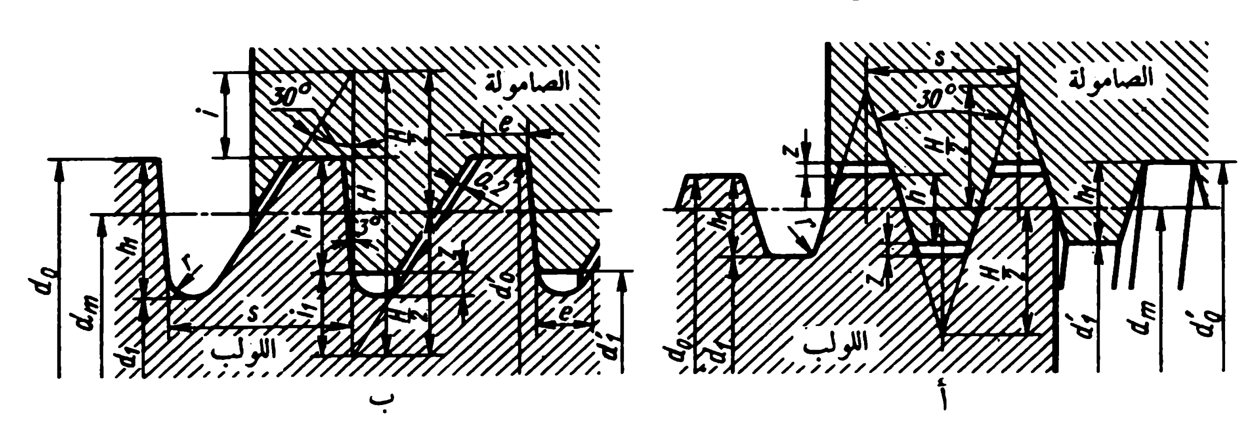
وتحدد الاحمال فى الركائز تبعا لموضع النجمتين وغيرهما من الاجزاء التى تتلقى القوى على الاعمدة .

وبعد حساب الاعمدة وكراسى محاورها يجب الانتقال الى تصميم جسم وسيلة نقل الحركة وأجهزة الشد .

الباب العشرون

وسيلة نقل الحركة باللولب والصامولة

تستخدم وسائل نقل الحركة باللولب والصامولة لتحويل الحركة الدورانية الى حركة مستقيمة . ومزايا هذه الوسيلة تكمن فى بساطة تصميمها ونسبة نقل السرعة الكبيرة والمقدرة على الايقاف الذاتى وامكانية تصنيعها بدقة عالية بالنسبة للخطوة ؛ أما عيوبها فتنحصر فى الاحتكاك الكبير نسبيا فى أسنان اللولب والتآكل الناتج عنه، ومعامل الكفاية المنخفض لوسيلة نقل الحركة. وفى المرفاعات والمكابس باللولب ، وأجهزة الشد (الضبط) ، ومعدات الدلفنة، تستخدم هذه الوسيلة بمثابة وسيلة لتسليط الاحمال ؛ وغالبا ما تنقل قوى ضخمة بسرعات قليلة نسبيا للحركة . وفى ماكينات قطع المعادن وفى اجهزة القياس والماكينات الاخرى تستخدم وسائل نقل الحركة باللولب والصامولة لازاحات الضبط ، وازاحات التشغيل ، والازاحات العاطلة، بما فى ذلك الازاحات الدقيقة، علما بأنه فى هذه يجب ان تستجيب وسيلة نقل الحركة لمتطلبات تتعلق بالمقاومة العالية للتآكل بالاحتكاك، والمحافظة على الدقة لفترة طويلة.



الشكل ٢٠ - ١

وفى العادة تستخدم فى وسائل نقل الحركة باللولب والصامولة، سنة اللولب (القلاووظ) شبه المنحرفة، أما فى حالة القوى الكبرى المتجهة باستمرار فى اتجاه واحد - فتستخدم سنة اللولب الساندة (الكتفية) . وشكل هذين اللولبين موضح فى الشكل ٢٠ - ١ ، أ ، ب .

وسنة اللولب المربعة، على الرغم من تمتعها ببعض المزايا بالنسبة لشغل الاحتكاك بالمقارنة مع سنة اللولب شبه المنحرفة، الا أنها لم ترد فى المواصفات القياسية ولا تستعمل تقريبا . ويعود ذلك الى

بعض الاسباب : أ ـ امكانية تشكيل الاسنان شبه المنحرفة بسهولة بكل الطرق الموجودة، أما السنة المربعة فان تشكيلها اكثر صعوبـــة، وعلاوة على ذلك فلا يمكن تغريزها ؛ ب ـ السنة شبه المنحرفة اكثـر متانة من السنة المربعة حيث أنه عند تساوى الخطوة يكون ارتفاع السنة شبه المنحرفة عند قاعدتها اكبر مما هو عليه فى حالة السنة المربعة؛ جـ ـ الخلوص المحورى فى السنة شبه المنحرفة يمكن تنظيمه عن طريـق احكام شد الصامولة المشقوقة، على حين أن ذات مستحيل فى حالـــة السنة المربعة .

والسنة الساندة (الكتفية) (الشكل ٢٠ ـ ١، ب) لها شكل شبـه منحرف غير متماثل وبزاوية عند القمة ٣° ؛ وقوس الاستدارة عند قاع الاسنان من هذا الطراز يساعد على زيادة الدقة فى حالة الحمـــل الديناميكى .

مواد وتصميم اللوالب والصامولات

يجب أن تتمتع مادة اللوالب علاوة على المتانة الكافية، بمقاومة عالية للتآكل بالاحتكاك وقابلية عالية للتشكيل . واللوالب المعرضة للمعاملـــة الحرارية تصنع من الصلب ٤٥، ٥٠ ، أما اللوالب التى تعرض للمعاملة الحرارية بعد التشغيل فتصنع من الصلب 40X, 65Г, XBГ, XГ, У10

مادة صامولات وسائل نقل الحركة باللوالب والصامولات، هى البرونـز القصديرى ОФ 10-0.5 ، ОЦС 6-6-3 وكذلك الحديد الزهر المقـــاوم للاحتكاك . وبغرض تقليل استهلاك البرونز، تصنع الصامولات مـــــن معدنين على صورة جسم من الصلب أو الحديد الزهر مطلى بطبقـة من البرونز (بطريقة الطرد المركزى) .

والصامولات المخصصة للازاحات السريعة تصب أحيانا بالبابيت .

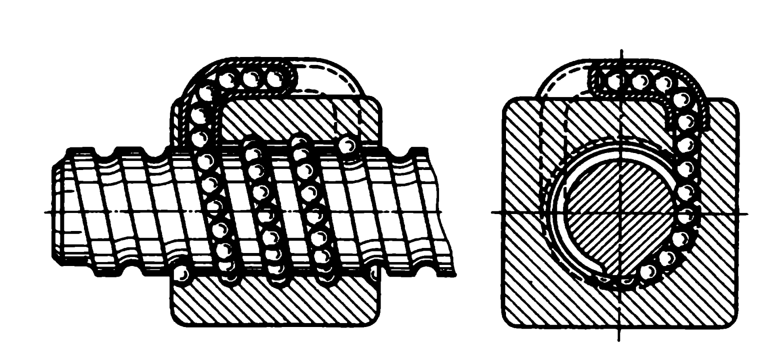
وتصميم اللوالب يتميز بالبساطة. وفـــى اللوالب (مثـــل الاعمدة أيضا) يجرى العمل على تجنب النتوءات الحلقيـــة ذات الاقطار الكبيرة حيث يزيد وجودها حجم العمل أثناء التشغيلات الميكانيكية ويزيد حجم المعدن المزال على صورة رايش . وتصنـــع اللوالب الطويلة من جزئين أو اكثر وذلك بهدف تسهيل تشغيلها .

وفى أبسط الاحوال تكون الصامولة عبارة عن جلبة أو جسم مزودة باسنان فى فتحتها، وباسطح ارتكاز فى خارجها تحميها من الانحراف والدوران فى الاجزاء، المثبتة تثبيتا جاسئا فيها . وكثيرا ما تطـــرح على وسائل نقل الحركة باللولب والصامولة فى ماكينات تشغيـــل المعادن، متطلبات التعويض الدورى أو الدائم (الاوتوماتيكى) عـــن التآكل بالاحتكاك فى اللولب والقضاء على اللعب المحورى (المســار الميت) . وتتلخص الحلول العديد لهذه المشكلة فى الاســـاس

فى تركيب صامولتين بدلا من واحدة يحركهما اسفين أو باى أو وسيلة أخرى .

والصامولات المستخدمة فى مخارط تشكيل اللوالب تصنع بحيث تكون قابلة للفصل وذلك لغصل الصامولة وعمود القلاووظ عند خراطة وتشطيب الاجزاء الخالية من اللوالب.

وفى الوقت الراهن تحصل أزواج اللولب بالكريات (الشكل ٢٠ - ٢) على انتشار أوسع فأوسع . وهى تتكون من لولب وصامولة ومجموعة من الكريات تملأ الفراغ المتكون من مجارى اللولب. وتحصل دورة الكريات عبر قناة (ماسورة أو مجرى وما الى ذلك) توصل بين السنة الاولى والاخيرة فى الصامولة. وتختلف الانواع العديد من تصاميم أزواج اللوالب بالكريان من ناحية شكل سنة اللولب ووسيلة رجوع الكريات وبالنسبة للاجزاء الاخرى .



الشكل ٢٠ - ٢

والميزات الاساسية لازواج اللوالب بالكريات هى الغواقد القليلة فى الاحتكاك والتى لا تعتمد عمليا على سرعة الازاحة، وامكانية التغلب تماما على الخلوصات المحورية والقطرية، فى الوصلة . وقد ادت هذه الميزات الى تحديد مجالات استخدام هذه الازواج ، وهى : توصيل التغذية فى ماكينات التشغيل ذات الادارة المبرمجة ؛ وفى آليات توجيه السيارات ؛ وآليات الطائرات (رفع وخفض الشاسيه وغيرها) ؛ وآليات الادارة عن بعد فى المعدات الذرية وغير ذلك.

وعند اختيار أبعاد الكريات وقنواتها ، وكذلك مواد اللولب والصامولة، يمكن الاستعانة بالمعطيات الخاصة بكراسى محاور التدحرج. وترد الارشادات الخاصة بتصميم وحساب أزواج اللولب بالكريات فى المراجع الخاصة.

حساب وسيلة نقل الحركة

ان العمل غير المرضى لوسائل نقل الحركة باللولب والصامولة كثيرا ما يكون سببه، كما تشهد على ذلك الخبرة ، هو تآكل الاسنان بالاحتكاك . وتبذل المحاولات لتقليله عن طريق الاختيار الموفق لمواد اللولب والصامولة، وبالتزييت الوفير بشكل كاف، وبخفض الضغط النوعى . وحساب التآكل بالاحتكاك ضرورى لكل وسائل نقل

الحركة باللولب. ووسائل نقل الاحمال، ولوالب وصامولات الحركة (لوالب الجر) فى ماكينات التشغيل تحسب على المتانة أيضا، وعندما يكون اللولب طويلا نسبيا، يجرى اختباره على الاستقرار. وفى الحالات الخاصة (حالة وسيلة نقل الحركة للتغذية الصغيرة فى ماكينات التشغيل، وللازاحات الحسابية) تجرى حسابات الجساءة والدقة. وسوف لا نتعرض هنا لطرائق اجراء مثل تلك الحسابات.

وحساب التآكل بالاحتكاك لغالبية وسائل نقل الحركة باللولب والصامولة يعتبر الحساب الاساسى، ويحدد على أساسه قطر اللولب وارتفاع الصامولة. ويجرى هذا الحساب عن طريق اختبار مقدار الضغط النوعى المتوسط p فى سنة اللولب من الصيغة

$$p = \frac{P}{\pi d_2 h \frac{H}{S}} \leqslant [p], \tag{20.1}$$

حيث P - القوة المؤثرة على طول اللولب ؛

d_2 - القطر المتوسط للولب ؛

h - الارتفاع العامل لشكل اللولب ؛

H - ارتفاع الصامولة ؛

S - خطوة اللولب .

واذا أدخلنا الرمز $\varphi = \frac{H}{d_2}$ ، نحصل على

$$p = \frac{PS}{\pi\varphi d_2^2 h} \leqslant [p], \tag{20.2}$$

ومن هنا

$$d_2 \geqslant \sqrt{\frac{PS}{\pi\varphi h [p]}} \tag{20.3}$$

وبالنسبة للسنة شبه المنحرفة القياسية المستخدمة اكثر ما يمكن فى وسائل نقل الحركة باللولب والصامولة يكون $h = 0.5S$. ويعطينا التعويض بهذه القيمة فى الصيغة الاخيرة ،

$$d_2 = \sqrt{\frac{2P}{\pi\varphi [p]}} \tag{20.4}$$

وتحدد قيمة S فى العادة من الحساب الكينماتيكى، وتختار النسبة $\varphi = \frac{H}{d_2}$ تصميميا فى حدود من ١ر٢ حتى ٥ر٢ للصامولات من القطعة الواحدة والمستديمة، ومن ٥ر٢ حتى ٥ر٣ للصامولات متعددة القطع والقابلة للفصل عن اللولب. والضغط النوعى المتوسط $[p]$ يمكن أخذه حسب تجربة عمل وسائل نقل الحركة باللولب والصامولة مساويا ١٢٠ كجم/سم^2 للولب المصنوع من الصلب والصامولة المصنوعة

من البرونز ١٥٠ ÷ ٢٠٠ كجم/سم٢ بالنسبة للوالب الشد فى معـــدات الدلفنة ؛ ٨٠ كجم/سم٢ بالنسبة للولب المصنوع من الصلب، والصامولة المصنوعة من الحديد الزهر .

وبعد حساب d_2 يختار أقرب قطر قياسى للولب .

حساب المتانة . ويجرى فقط بالنسبة للوالب المحملة بشدة . وحيث أن اللولب يعمل معرضا فى آن واحد الى الضغط (أو الشـــــد) ، واللى ، لذلك يكون الاجهاد المكافىء فى مادة اللولب

$$\sigma_{comb} = \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2}, \tag{20.5}$$

حيث $\sigma = \frac{P}{F_1} = \frac{P}{\frac{\pi}{4} d_1^2} \approx \frac{P}{0.8 d_1^2}$ ، وهو اجهاد الشد أو الضغـــــط الذى تسببه القوة المحورية P ، أما $\tau = \frac{M_t}{W_t} = \frac{M_t}{0.2\, d_1^3}$ ، وهو اجهاد القص الناتج من تأثير عزم اللى M_t' . وعزم اللى المنقـــول باللولب يتكون من *

$$M_t = P \frac{d_2}{2} \tan(\psi + \rho') + M_{fr}; \tag{20.6}$$

وهنا $\beta = \arctan \frac{Sz}{\pi d_2}$ - زاوية تقدم صامولة اللولب ؛

z - عدد أبواب اللولب ؛

ρ' - زاوية الاحتكاك المكافئة فى اللولب ؛

M_{fr} -عزم قوى الاحتكاك فى الركيزة التى تتلقى رد الفعل النـاتـــج من القوة P . وللاسنان على شكل شبه المنحرف $\rho' \approx \rho = \arctan f = 6 \div 8^\circ$ حيث f معامل الاحتكاك.

وعزم الاحتكاك فى الركيزة (الكعب) يمكن التعبير عنه من خلال القوة P : $M_{fr} = P \frac{d_{red}}{2}$ حيث d_{red} - القطر المكافىء لقـــوى الاحتكاك فى الركيزة ، علما بأن

$$M_t = P \left[\frac{d_2}{2} \tan(\psi + \rho') + \frac{d_{red}}{2} f \right] \tag{20.7}$$

---

* الصيغة (20.6) قابلة للتطبيق فى الحالة التى تكون عندها الصامولة والركيزة موضوعتين فى جانب واحد من موضع تسليط عزم اللى. أما اذا كانت الصامولة والركيزة موجودتين على جهتين مختلفتيـــن من موضع تسليط عزم اللى ، فان المقطع موضع الحساب يكون معرضـــا لتأثير جزء فقط من عزم اللى M_t . علما بأنه فى الصيغة (20.6) يدخل اما عزم الاحتكاك فقط فى اللولب المعبر عنه فى الصيغـــــة $P \frac{d_2}{2} \tan(\psi + \rho')$ واما العزم M_{fr} - وذلك تبعا لأى هذيـــن العزمين اكبر .

وشرط متانة اللولب هو

$$\sigma_{st} \leqslant \frac{\sigma_Y}{5 \div 3}, \qquad (20.8)$$

حيث σ_y - حد الخضوع لمادة اللولب.

وفى الصامولات المصنوعة من البرونز والحديد الزهر يلاحظ فى بعض الاحيان قص الاسنان. لذلك يجب أن يتضمن أيضا حساب متانة وسيلة نقل الحركة باللولب والصامولة مراجعة ارتفاع الصامولة على قص الاسنان . ومعادلة المتانة فى هذه الحالة على الشكل التالى:

$$\tau = \frac{P}{\pi d_0' \frac{H}{S} h} \leqslant [\tau]_s, \qquad (20.9)$$

حيث ، علاوة على الرموز المذكورة أعلاه d_0' القطر الخارجى للولب فى الصامولة ؛ h - ارتفاع الصامولة. وفى الصامولات المصنوعة من البرونز الفوسفورى يمكن ان تتراوح المتانة $[\tau]_s$ بين ٢٥٠ و ٣٥٠ كجم/سم٢ .

حساب الاستقرار. فى حالة الانحناء (الثنى) الطولى يجب اجراء هذا الحساب بالنسبة للوالب ذات الاطوال الكبيرة بالمقارنة مع قطرها عند ما تكون $\nu l \geqslant (7.5 \div 10) d_1$ ، حيث νl - طول اللولب المكافئ (يرد فيما بعد) ، أما d_1 - القطر الداخلى للولب. وبسبب صعوبة التقييم الدقيق لطابع تثبيت اللولب فى ركائزه، يكتفى بحساب استقرار اللولب كقضيب معرض لتأثير قوة محورية ضاغطة فقط P . وفى هذه الحالة تكون القوة الحرجة P_{Eul} معبرا عنها من الصيغة المعروفة من منهج " مقاومة المواد "

$$P_{Eul} = \frac{\pi^2 E \ J_{\min}}{(\nu l)^2} \qquad (20.10)$$

حيث E - موديول المرونة الطولية ؛

J_{min} - أصغر عزم قصور ذاتى لمقطع اللولب ؛

νl - الطول المكافىء للولب ؛

والرمز Eul تحت القوة يعبر عن القوة فى معادلة أويلر، ويشير الى أن القوة الحرجة تخص حالة التحميل الاستاتيكى للقضيب .

ويتم الحصول على الطول المكافىء من حاصل ضرب طول اللولب l بين الركيزتين (يمكن اعتبار الصامولة احدى الركيزتين) فى قيمة المعامل ν . وقيمة هذا المعامل تعتمد على طريقة تثبيت طرفى القضيب ، وكذلك على طابع توزيع القوى الداخلية بطول اللولب. وركائز اللوالب ذات النسبة $l_{sup} : d_{sup} = 1.5 \div 2.0$ ، يجب اعتبارها

كائز "مفصلية" ؛ ولها $\nu = 1$. وبالنسبة للوالب الموضوعة افقيا، يجب أخذ الانحناء تحت تأثير وزنها الذاتى فى الاعتبار. وعندما تكـــون $\nu = 1$ ، وبادخال هذا التأثير فى الصيغة نحصل على

$$P_{Eul} = \frac{\pi^2 E\, J_{min}}{l^2} - 0.5\, ql,$$

حيث q - كثافة الحمل فى اللولب نتيجة لوزنه الذاتى . وبالنسبة لمعامل الامان للاستقرار $n_{st} = \frac{P_{Eul}}{P}$ تؤخذ القيمة $n_s \geqslant 2.5 \div 4$.

ولقد اعتبرنا فيما سبق فى الصيغ الحسابية لمتانة واستقـــرار اللولب، أن الاخير عبارة عن قضيب قطره d_1 يساوى القطر الداخلى لسنـــة اللولب، فى حين ان وجود سنة اللولب يزيد من متانة وجساءة اللولـــب بالمقارنة مع القضيب الناعم بقطر d_1 . وكما أوضحت التجارب العملية فـــان هذه الزيادة ليست كبيرة بالمرة وهى تعتمد أساسا على النسبة بين القطر الخارجى للولب d_0 والقطر الداخلى لسنته d_1 . وبالنسبة لسنة اللولب شبـــه المنحرفة والقياسى، بزاوية تشكيل $\alpha = 30°$

$$J_{screw} = J_1 \left(0.40 + 0.60\, \frac{d_0}{d_1}\right),$$

حيث J_{screw} - عزم القصور الذاتى للولب ؛

J_1 - عزم القصور الذاتى لقضيب قطره d_1 .

وفى الحساب الاعتيادية لا يجرى مثل هذا التصحيح .

الباب الحادى والعشرون

أجهزة تخفيض وتغيير السرعة

الانواع الاساسية لاجهزة تخفيض وتغيير السرعة

معلومات عامة . كثيرا ما تستخدم وسائل نقل الحركة التى تعرضنا لها بالبحث، كأجهزة مستقلة. وفى هذه الحالات تضم وسيلة نقل الحركة فى صندوق جاسئ منفرد ، وتكون الركائز الحاولة للاعمدة مانعة لتسرب الزيت والاتربة. واذا كانت وسيلة نقل الحركة توفر نسبة نقل السرعة ثابتة، وكانت تستخدم لتخفيض سرعة العمود المنقاد ، تسمى فى هذه الحالة مخفضا للسرعة أما اذا كانت سرعة العمود المنقاد قابلة للتغيير أثناء الاستخدام فتسمى بمغيّر السرعة (أو جهاز تغيير السرعة).

وفى العادة تستخدم وسيلة نقل الحركة بالتعشيق فى مخفضات السرعة - وهو نقل الحركة بالتروس والدودات والسلاسل. وتبعا للرسم التخطيطى لوسيلة نقل الحركة ونوعها ، تقسم مخفضات السرعة الى اسطوانية، ومخروطية اعتيادية ، وكوكبية مسننة، ودودية ومختلطة. وتبعا لنوع وسيلة نقل الحركة تقسم مغيرات السرعة الى مغيرات احتكاكية وبالسيور وبالسلاسل ... الخ.

والجدول (٢١ - ١) يحوى أمثلة للرسوم التخطيطية لأوسع مخفضات السرعة بالتروس والدودات انتشارا (ويرمز فيها بالرموز H ، L ، I للاعمدة السريعة والبطيئة الحركة والاعمدة البينية). ١

ويبين فى الجدول ٢١ - ٢ الرسومات التخطيطية لبعض اكثر مغيرات السرعة انتشارا ، وكذلك أنواع وسائل نقل الحركة الجامعة بين مخفضات ومغيرات السرعات.

والتقييم المقارن لمخفضات السرعة. تخضع البارامترات الاساسية لمخفضات السرعة بالعجلات المسننة الاسطوانية للمواصفات القياسية . ولقد حددت هذه المواصفات مجموعة من المسافات بين المحاور بالنسبة لمخفضات السرعة ذات الدرجة الواحدة وذات الدرجتين والثلاثة، كما وتشير الى معاملات عرض العجلات المسننة ونسب نقل السرعات .

وأبسط أنواع مخفضات السرعة، ذو الزوج الواحد من التروس الاسطوانية (الرسم ١ من الجدول ٢١ - ١) ، يعول عليه فى العمل ويستخدم فى مجال واسع من القدرات، ولكن نسب تخفيض السرعة فيه قليلة $(i \leqslant 8 \div 10)$.

ومخفضات السرعة متحدة المحور (الرسم ٢) مناسبة للحالات التى يكون من المرغوب فيها الحصول على خط واحد لمحورى العمودين فى الميكانزمين توصيلهما . وعيوب هذه المخفضات - هى الزيادة فى الابعاد على طول المحاور والانحراف الشديد لعجلات العمود البينى .

وتستخدم لنسب نقل السرعة $i = 10 \div 60$ المخفضات المبينة فى الرسومات ٣، أ ؛ ٤، أ (الجدول رقم (٢ - ١) وعيب هذه المخفضات هو الوضع غير المتماثل للعجلات بالنسبة لمحاورها. ويؤدى هذا الى الانحراف المتبادل للعجلات المعشقة. وفى مخفضات السرعة " ذات القدرة

الجدول (٢ - ١)

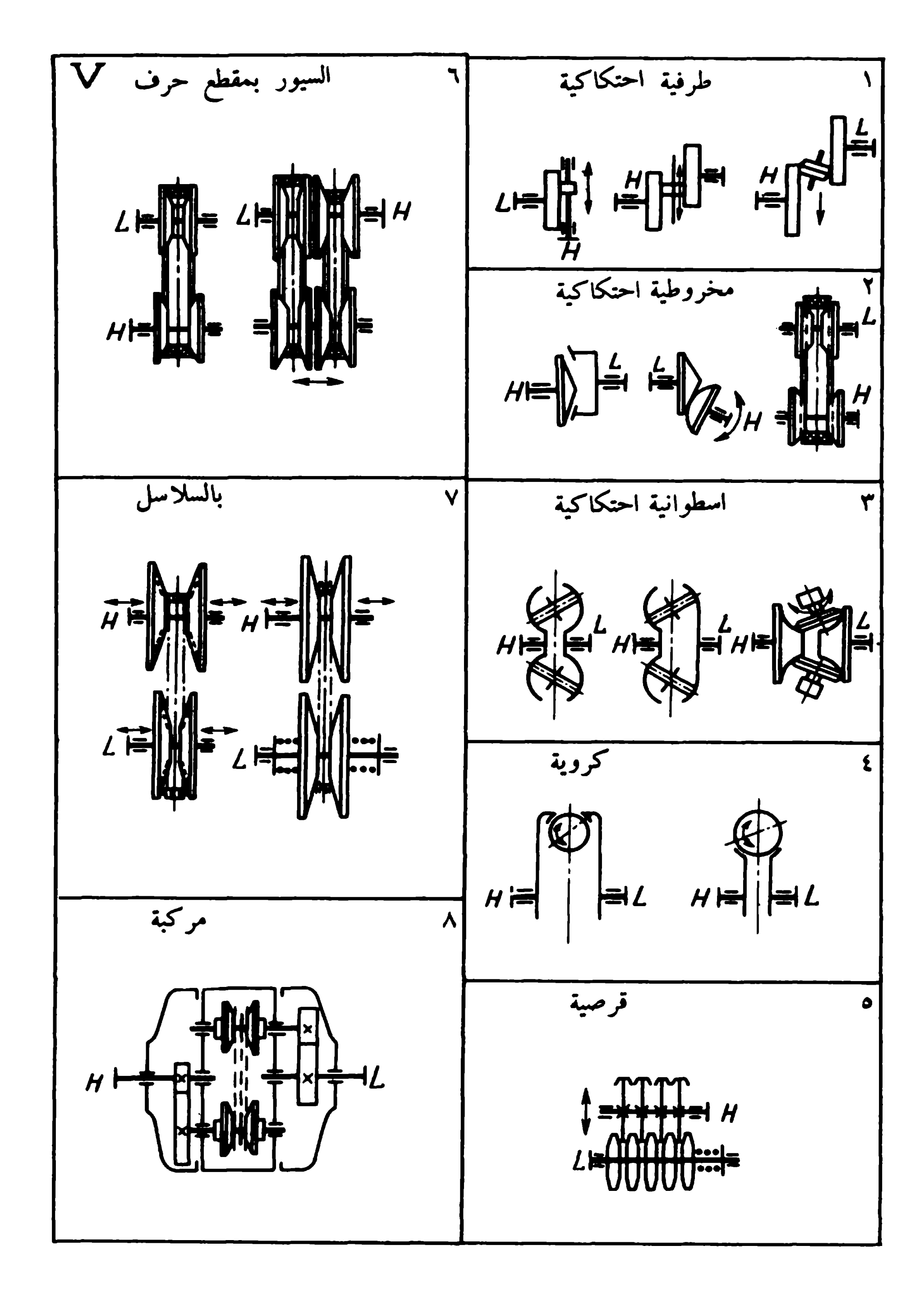
١ اسطوانى بدرجة واحدة	٥ مخروطى بدرجة واحدة	٩ بدرجة واحدة بدودة جانبية
٢ بدرجتين مشترك المحور	٦ مخروطى اسطوانى بدرجتين	١٠ بدرجة واحدة بدودة رأسية
٣ اسطوانى بدرجتين (أ ، ب)	٧ بدرجة واحدة بدودة سفلية	١١ دودى بدرجتين
٤ اسطوانى بثلاث درجات (أ ، ب)	٨ بدرجة واحدة بدودة علوية	١٢ دودى اسطوانى مركب

المضاعفة" (الرسم ٣، ب ؛ ٤، ب من الجدول (٢ - ١) يضعف تأثير العيب المذكور حيث أن عجلات الدرجة عالية السرعة مركبة على الاعمدة الاقل قطرا وهو جودة فى منتصف الباع، ولا تنحرف بانحناء الاعمدة.

ولنقل الحركة الدورانية بين الاعمدة المتقاطعة، تستخدم مخفضات السرعة بالتروس المخروطية (الرسم ٥)، أو المخفضات المركبة المخروطية الاسطوانية (الرسم ٦، جدول (٢ - ١) حسب المواصفات القياسية. والتصنيع الدقيق للعجلات المخروطية من الابعاد الكبيرة يعتبر مهمة صعبة. ونتيجة لذلك فان الدرجة الاولى من المخفضات متعددة الدرجات تكون مخروطية.

ومن بين المخفضات الدودية للسرعة تستخدم أوسع استخدام المخفضات ذات الدرجة الواحدة مع مختلف أوضاع الدودات ؛ بالدودة العلوية ،

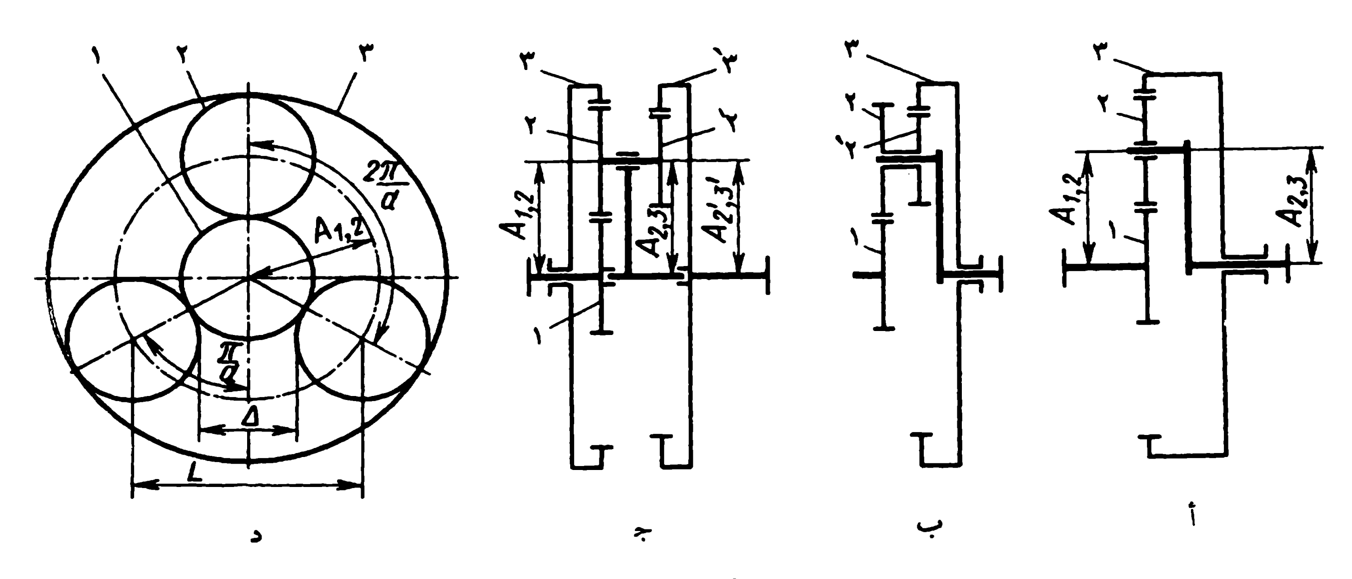
الجدول ٢١ - ٢



١ طرفية احتكاكية
٢ مخروطية احتكاكية
٣ اسطوانية احتكاكية
٤ كروية
٥ قرصية
٦ السيور بمقطع حرف V
٧ بالسلاسل
٨ مركبة

والسفلية والجانبية أو الرأسية (الرسم ٧، ٨، ٩، ١٠) والمخفضات الاسطوانية الدودية (الرسم ١٢، جدول ٢١ - ١) كما وتستخدم احيانا المخفضات ذات الدرجتين. ومن المخفضات المختلطة تستخدم وسائل نقل الحركة بالدودة كمراحل عالية السرعة، حيث أن كفاءة أداء وسائل نقل الحركة بالدودات أعلى في حالة السرعات الكبرى.

ومخفضات السرعة الكوكبية تتميز بصغر أبعادها مع كبر نسب نقل السرعة فيها، وهى فى الكثير من الحالات تزاحم مخفضات السرعة بالتروس والدودات. وهى تستخدم بتوسع فى الطائرات والهليوكبترات والمرفاعات وماكينات النقل ومعدات القتال. وتخفيض وزن المخفضات الكوكبية بمقدار ٢ - ٣ مرات بالمقارنة بالمخفضات البسيطة ذات التروس مع تساوى القدرات



الشكل ٢١ - ١

ونسب نقل السرعة. ويتم التوصل الى ذلك عن طريق التعشيق الداخلى وتوزيع الحمل بين عدة توابع كوكبية وباستخدام مواد عالية الجودة (وهو ممكن اكثر بالنسبة للعجلات المسننة ذات الاقطار الصغيرة)، وبالتأثير الأقل لتشوه الاجزاء على عدم انتظام توزيع الاحمال بالنسبة لعرض العجلات.

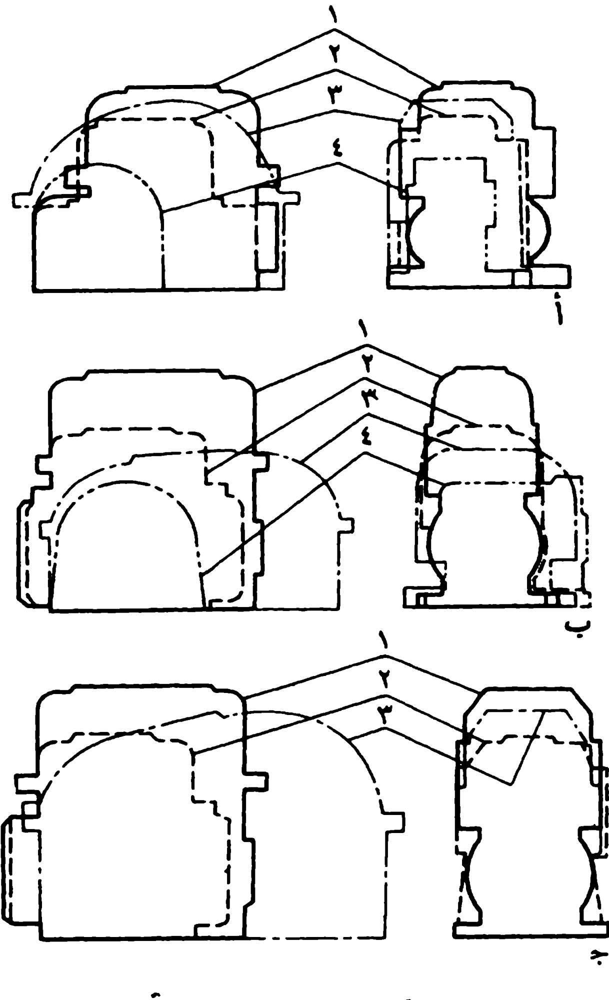
وأبسط أنواع مخفضات السرعة الكوكبية هى المخفضات المبينة فى الشكل ٢١ - ١، أ. واكبر نسبة لنقل السرعة هى $i = 8$، ومعامل الكفاية η يتراوح بين ٠٫٩٧ و ٠٫٩٩. ومخفض السرعة المبين فى الشكل ٢١ - ١، يسمح بتحقيق نسب سرعة أعلى (حتى $i = 15$) مع الاحتفاظ بنفس قيم معامل الكفاية، وأبعاد قطرية أقل. وفى هذه المخفضات تستعمل سواء التروس المستقيمة الاسنان والتروس الحلزونية. وتصل القدرة التى ينقلها كل من نوعى المخفضات المذكورين الى ١٠٠٠ كيلووات.

والمخفضات المبينة فى الرسم ج (الشكل ٢١-١) تسمح بالحصول على نسب عالية لنقل السرعة، الا أنه مع زيادة هذه النسب يقل بشدة معامل كفاية وسيلة نقل الحركة. والافضل استخدام مخفضات

للسرعة قدراتها لا تتجاوز ١٠٠ كيلووات لنسب نقل السرعة $i = 10 \div 20$.

وللحصول على نسب كبيرة لنقل السرعة مع الاحتفاظ بمعامل كفاية كبيرة بشكل كاف، تستخدم مخفضات تتكون من وسيلتين لنقل الحركة موضحة من الشكل (٢١ - ١ ، أ) وهى مركبة من وسيلة بسيطة لنقل الحركة وأخرى كوكبية.

وعند اختيار نوع مخفض السرعة، يلزم تقييم مواصفات كثيرة: معامل الكفاية ، الابعاد ، الوزن ، تكاليف التصنيع والتشغيل ، الخ . وكفاءة ان ا وسائل نقل الحركة بالتروس اعلى كثيرا من مثيلاتها لوسائل نقل الحركة بالتروس الدودية وبالدودات شبه الكروية (اذ أن الفواقد فى الاخيرة تزيد ٥ مرات تقريبا عن الفواقد فى مخفض السرعة بالتروس ذى الدرجتين) . وفى حالة الاستخدام الطويل الامد وبدون توقف لمخفض السرعة، يمكن أن تكون تكاليف الطاقة الكهربية المصروفة على التغلب على الفواقد فى مخفض السرعة بالتروس الدودية أعلى كثيرا من تكاليف تصنيع المخفض بالتروس الاعتيادية . لذلك يستحسن استخدام المخفضات الدودية والدودية شبه الكروية عند ضرورة توفير عدم وجود الضوضاء المصاحبة لتشغيل الماكينة دوريا .



الشكل ٢١ - ٢

ان المقارنة بين مختلف أنواع مخفضات السرعة بالنسبة للابعاد تبين أنه فى حالة النسب الصغيرة لنقل السرعة يكون للمخفضات الدودية اكبر الابعاد ، أما اقلها فيكون للمخفضات الكوكبية مع الصلادة العالية لأسطح أسنانها . والشكل (٢١- ٢ يوضح الابعاد المقارنة لمخفضات السرعة : أ - بالقدرة $N = 18.5$ kW ، ونسبة نقل السرعة $i = 7$ ؛ ب - للقدرة $N = 18.5$ kW ، $i = 21$ ؛ جـ - للقدرة $N = 9$ kW ، $i = 50$.

١ - مخفض دودى للسرعة بدودة اسطوانية (حافة العجلة الدودية مصنوعة من البرونز القصديرى) ؛ ٢ - مخفض بدودة شبه كروية ؛ ٣- مخفض ذو تروس اسطوانية ؛ ٤ - مخفض كوكبى . ومع زيادة نسبة نقل السرعة تقل

الابعاد النسبية لمخفضات السرعة الدودية وذات الدودة شبه الكروية .

التقييم المقارن لمغيرات السرعة . يعتبر مجال تنظيم السرعات D* ومعامل الكفاية والقدرة المنقولة والابعاد هي المؤشرات الرئيسية التي يجب تقييمها عند اختيار مغيرات السرعة.

وتستخدم المغيرات الاحتكاكية أساسا لنقل القدرات غير الكبيرة (حتى ٢٠ كيلوواتات) الا ان هناك مغيرات للسرعة لقدرات تقدر بمئات الكيلوواتات. ومجال التنظيم D يتراوح بين ٤ و ١٠ . والتنفيذ التصميمي لهذه المغيرات متنوع.

فالمغيرات الجبهية (الجدول ٢١ - ٢) التي تتميز بالبساطة الكافية ، لها مجال للتنظيم D يتراوح بين ٣ و ٤ ، أما بالنسبة للمغيرات الجبهية المزدوجة فان مجال التنظيم D يتراوح بين ٨ و ١٠ . وفي المغيرات ذات القرص البيني ، يتم نقل القدرة في مسارين ، وتكون أعمدتها خالية من قوى الثني .

وفي المغيرات ذات التصاميم المتعددة والمختلفة، يتحقق نقل الحركة بواسطة عجلات مخروطية (الرسم ٢ جدول ٢١ - ٢) . وبسبب وجود الانزلاق في منطقة التلامس، تستخدم عجلات عرضها قليل ، ونتيجة لذلك فهي تنقل أحمالا قليلة (حتى ٥ كيلوواتات) . والمغيرات المخروطية ، مثلها مثل المغيرات الجبهية، يمكنها أن تكون بمرحلة واحدة أو بمرحلتين .

وتستخدم في بناء الماكينات مغيرات للسرعة بحلقة ذاتية الشد (الرسم ٢ ، الجدول ٢١ - ٢) . ويتحقق نقل السرعة في هذه المغيرات بواسطة حلقة من الصلب تتلامس مع المخروطين المتحركين . والقدرات المنقولة تصل الى ١٠ كيلوواتات ؛ ويصل مقدار مجال التنظيم D الى ١٦ ، اما معامل الكفاية، فيكون ضئيلا ($\eta = 0.7 \div 0.8$) .

والمغيرات الاسطوانية (الرسم ٣ ، الجدول ٢١-٢) تتميز بمعامل كفاية عال η (حتى ٠٫٩٥) وتتمتع بانزلاق هندسي قليل ، الا أن تصميمها معقد ويتطلب رعاية كبيرة. ويتراوح مجال التنظيم D في هذه المغيرات بين ٤ و ٦ .

وفي المغيرات الكروية (الرسم ٤ ، الجدول ٢١ - ٢) تستخدم الكرات كأجسام بينية، أما تغيير نسبة نقل السرعة فيتم عن طريق تغيير وضع محور دوران الكرات ويتراوح مجال التنظيم D في هذه المغيرات بين ١٠ و ١٢ .

---

* مجال التنظيم - هو مواصفة كينماتيكية لمغير السرعة

$$D = \frac{n_{2\ max}}{n_{2\ min}} = \frac{i_{max}}{i_{min}}$$

وتستخدم المغيرات القرصية (الرسم ٥، الجدول (٢ - ٢) لنقل القدرات التى تصل الى ٨٠٠ كيلووات مع مجال للتنظيم $D \geqslant$ ٣؛ وفى وسائل نقل القدره الاقل من ٣٠٠ كيلووات يتم التوصل الى مجال للتنظيم D. يصل الى ٥ر٤ .

والميزة الرئيسية لمغيرات السرعة ذات السيور على شكل حرف V (الرسم ٦، الجدول (٢ - ٢) - هى بساطة التصميم. والخاصية بها هى وجود بكرات قابلة للتنظيم (بتحريكها). وللبكرات المصمتة (أى الاقراص) والسيور القياسية يكون مجال التنظيم $D = 1.3 \div 1.7$ ؛ وعند تركيب أقراص بقنوات يمكن أن يزداد مجال التنظيم حتى يصل الى ٢ . واذا استخدمنا سيور عريضة فان مجال التنظيم يزيد، أما قيمة القدرة المنقولة فتصل الى ٥٠ كيلووات أما معامل الكفاية η ، فيتراوح بين ٨ر٠ و ٩ر٠ .

والمغيرات بالسلاسل (الرسم ٧ ، الجدول (٢-٢) أكثر تعقيدا وأغلى ثمنا من المغيرات بالسيور ذات المقطع V ، الا أنها أقل حجما واطول واكثر كفاءة. وتنقسم الى مغيرات تنقل الحركة بالتعشيق وأخرى بالاحتكاك. وتزود حلقات سلاسل المغيرات من الطراز الثانى باسطوانات مقساة. ومجال التنظيم D فى الاولى يصل الى ٦ ، وفى الثانية يصل الى ٧ ÷ ١٠ . ويضمن نقل الحركة بالتعشيق النسبة $i =$ const ويمكنها أن تنقل أحمالا كبيرا ، وبفضل ذلك حصلت على انتشار واسع. وهى تستخدم للقدرات التى تصل الى ٣٠ كيلووات وتتمتع بمعامل كفاية تصل الى ٨ر٠ ÷ ٩ر٠ .

تصميم مخفضات ومغيرات السرعة

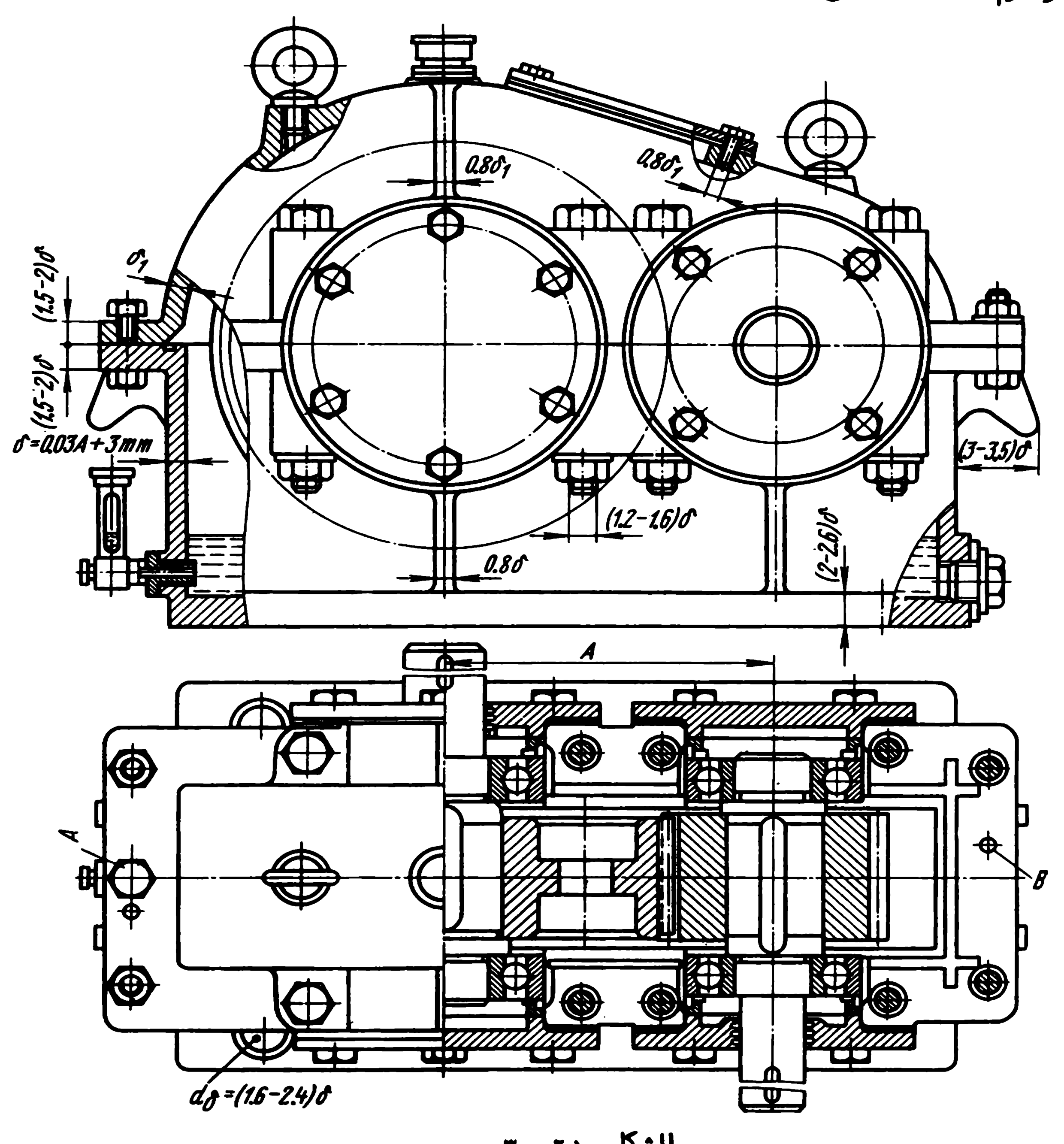
مخفضات السرعة بالتروس وبالدودات. يستخدم لصناعة جسم المخفض الحديد الزهر СЧ 15-32 ، СЧ 18-36 ، ومن النادر ان تستخدم أنواع الصلب المسبوك 15Л ، أو 25Л حسب المواصفات القياسية. وأحيانا تستخدم اجسام المخفضات المصنوعة باللحام.

ويجب أن يكون شكل أجزاء الجسم بسيطا ، وبناء على ذلك يجب أن تحتوى على أقل عدد ممكن من النتوءات والزعانف والاكتاف. . الخ (لضمان الجساءة). وأبعاد عناصر الجسم والغطاء تختار من الرسم (الشكل (٢ - ٣ ، (٢ - ٥) . ومواضع تركيب كراسى المحاور فى الجسم تزود بعروات أو السنة أو حواف. وبغرض زيادة جساءة مخفض السرعة، تزود الاخيرة فى أماكن نقل القوى من كراسى المحاور الى الجسم بزعانف أو بتغير مناسب فى شكل جدار الجسم. ومسامير تثبيت الغطاء فى الجسم، يوصى بتوزيعها بحيث تكون على

اقرب مسافة ممكنة من كراسى المحاور ؛ ولهذا السبب يلزم تزويد الجسم بعروات تخصص لارساء الصامولات .

والثقوب اللازمة لتركيب كراسى المحاور أو لتركيب أوعيتها يجب أن تنفذ حسب الدرجة الثانية من الدقة ؛ ونظافة الاسطح يجب أن تكون بما لا يقل عن ∇ 6 (حسب المواصفات القياسية) .

ولتسهيل رفع الغطاء ، يزود الجسم بثقب ملولب لتركيب مسامير ضاغطة (A) . وبغرض التمكن من مراقبة التعشيق وملء المخفض بالزيت وسكبه منه ، ولتركيب مؤشر بيان مستوى الزيت أو ترمومتر قياس درجة حرارته يزود كل من جسم وغطاء المخفض بفتحات مناسبة فى شكلها وأبعادها تغطى بأغطية أو سدادات ، أو توصيلة ماسورة أو بخرطوم ... الخ . ويجب أن تحتوى الاجسام والاغطية على مسامير



الشكل ٢١ - ٣

ذات عروات أو خطافات لرفع ونقل هذه الاجزاء والمخفض كله. ووضع الغطاء بالنسبة للجسم يثبت عند تجميع المخفض بواسطة تيلتين مخروطيتين (او اسطوانيتين) (B) البعد بينهما يكون كبيرا بقدر الامكان (الشكل ٢ - ٣).

وتستخدم فى مخفضات السرعة ذات القدرة القليلة والمتوسطة كراسى المحاور بالتدحرج فى ركائز أعمدتها، اما فى المخفضات ذات القدرات العالية والسرعات الكبيرة فتستخدم كراسى محاور الانزلاق. ويجب اختيار نوع كرسى المحور تبعا لنوع التعشيق. فيمكن استخدام أى نوع من انواع كراسى المحاور فى حالة التروس ذات الاسنان المستقيمة. كما يجب تركيب أعمدة التروس ذات الاسنان المائلة على كراسى محاور قطرية أحادية الصف، وقطرية دفعية بالكريات أو بالمخروطات.

وفى مخفضات السرعة ذات التروس بالاسنان المتعاكسة، " ذات القدرة المضاعفة "، يجب تركيب أحد الاعمدة (والافضل أن يكون عمود الترس القائد لكونه الاخف) على كراسى محاور بالاسطوانات: اذ أنها تسمح باللعب المحورى، وبفضل ذلك تكون للترس القائد عند تشغيل وسيلة نقل الحركة، الفرصة فى ضبط مكانه ذاتيا بالنسبة للعجلة المنقادة تحت تأثير القوى المحورية على كلا نصفى الترس ذى الاسنان المتعاكسة، ويتوزع الحمل بالتساوى بين نصفى الترس.

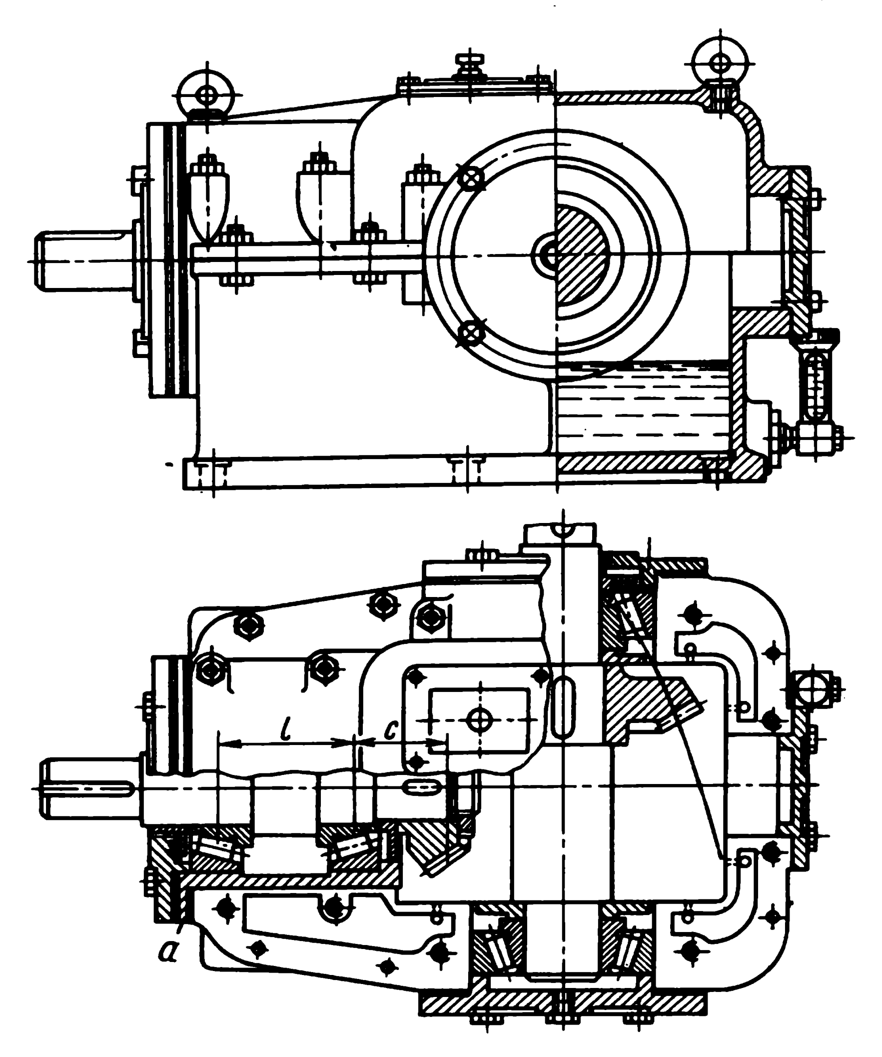
ولضمان ظروف ملائمة لعمل التعشيق المخروطى، يجب أن تكون المسافة بين كرسيى محور العمود ذى الكابولى اكبر ب ٢٫٥ - ٣ مرات من المسافة بين منتصف الترس الى منتصف كرسى المحور الاول. والانسب هو تركيب العمود مع الترس بواسطة جلبة خاصة وبعد التجميع تركب فى جسم المخفض (الجزء فى الشكل ٢ - ٤).

ولتحديد الموضع الصحيح للعجلات المتقارنة فى المخفضات المخروطية بهدف ضمان انطباق قمتى مخروطى الخطوة على بعضهما البعض توضع لقم حشو تحت كافة اغطية وصلات كراسى المحاور.

وفى مخفضات السرعة الدودية (الشكل ٢ - ٥) وشبه الكروية (الشكل ٢ - ٦) تستخدم أساسا كراسى المحاور القطرية الدفعية فى ركائز الدودات وأعمدة العجلات. ولا تتميز هذه الكراسى عن كراسى محاور الكريات بمقدرتها على تلقى القوى المحورية الكبيرة فحسب، بل وبجساءتها الكبيرة ايضا، الامر الذى يوفر وضعا نسبيا الاكثر استقرارا لعناصر نقل الحركة من هذا الطراز.

وعند تركيب كراسى محاور قطرية دفعية فى كلتا ركيزتى الدودة (الشكل ٢ - ٥) يحتمل انحشار أجسام التدحرج نتيجة لارتفاع درجة حرارة الدودة. وفى حالة عدم استبعاد حدوث مثل هذا الانحشار (عندما تكون المسافة بين الركيزتين اكبر من ٣٥٠ مم) يركب كلا كرسيى المحور القطريين الدفعيين فى جهة واحدة، ويركب

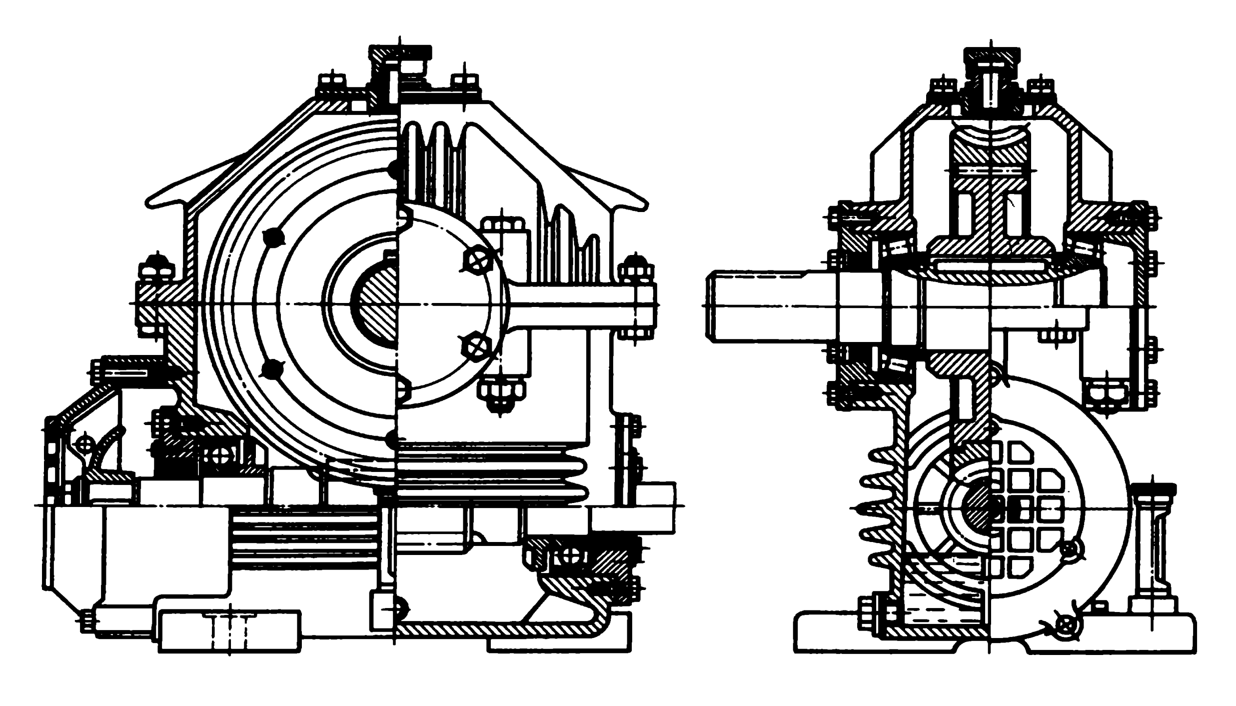
كرسى محور كريات أو اسطوانات اضافى لتلقى الحمل القطرى وحده فى الجهة الاخرى من الدودة (الشكل ٢١ - ٦).
مخفضات السرعة الكوكبية . وهى أعقد فى تركيبها من مخفضات السرعة الموصوفة أعلاه. والصعوبة الاساسية عند وضع التصميم تظهر بسبب ضرورة تركيب العجلات المسننة والعمود الناقل الواقعة على محور واحد ، وذلك من أحجام غير كبيرة. ولضمان عمر الخدمة المطلوب، يجب أن تكون لكراسى المحاور أبعاد مناسبة، لذا فكثير ما يظهر أن ابعاد كراسى المحاور هى التى تحدد تصميم غيرها من أجزاء مخفض السرعة ومكوناته وأبعاده. ويجب ايلاء



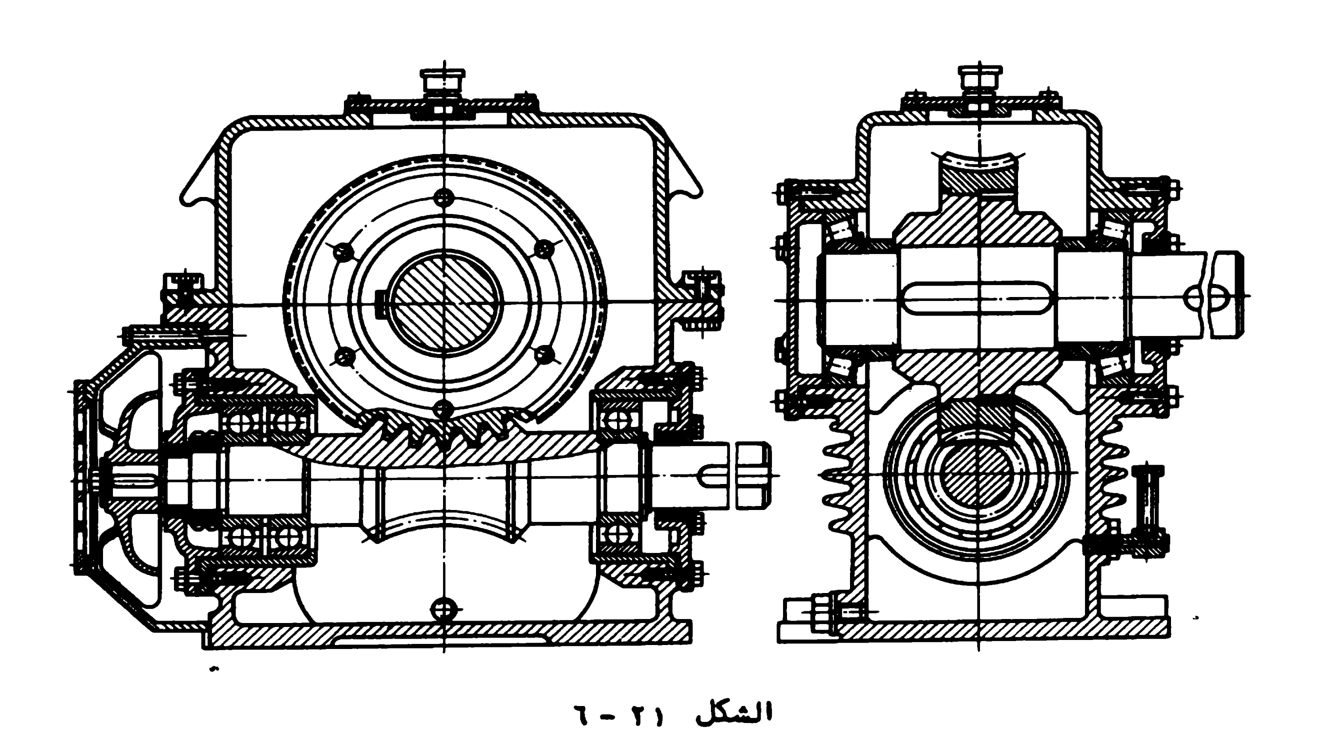
الشكل ٢١ - ٤

اهتمام كبير خاص الى تصميم وحدات التروس التابعة، واختيار كراسى المحاور الملائمة لها حيث أن أقل انحراف فى التوابع يجعل عمل المخفض أردأ. وعلاوة على ذلك فان مقدرة الحمل لكراسى محاور التوابع تقيد أحيانا بشدة مقدرة الحمل للمخفض كله . لذا تولى لحساب هذه الكراسى أهمية بالغة.

ويرد فى الشكل ٢١ - ٧ المخفض ذو الابعاد المضغوطة الذى تم تصميمه حسب الرسم الهندسى المبين فى الشكل ٢١ - ١، أ. فالحلقة المركزية ٣ ذات الحافة المسننة من الداخل يجرى صنعها

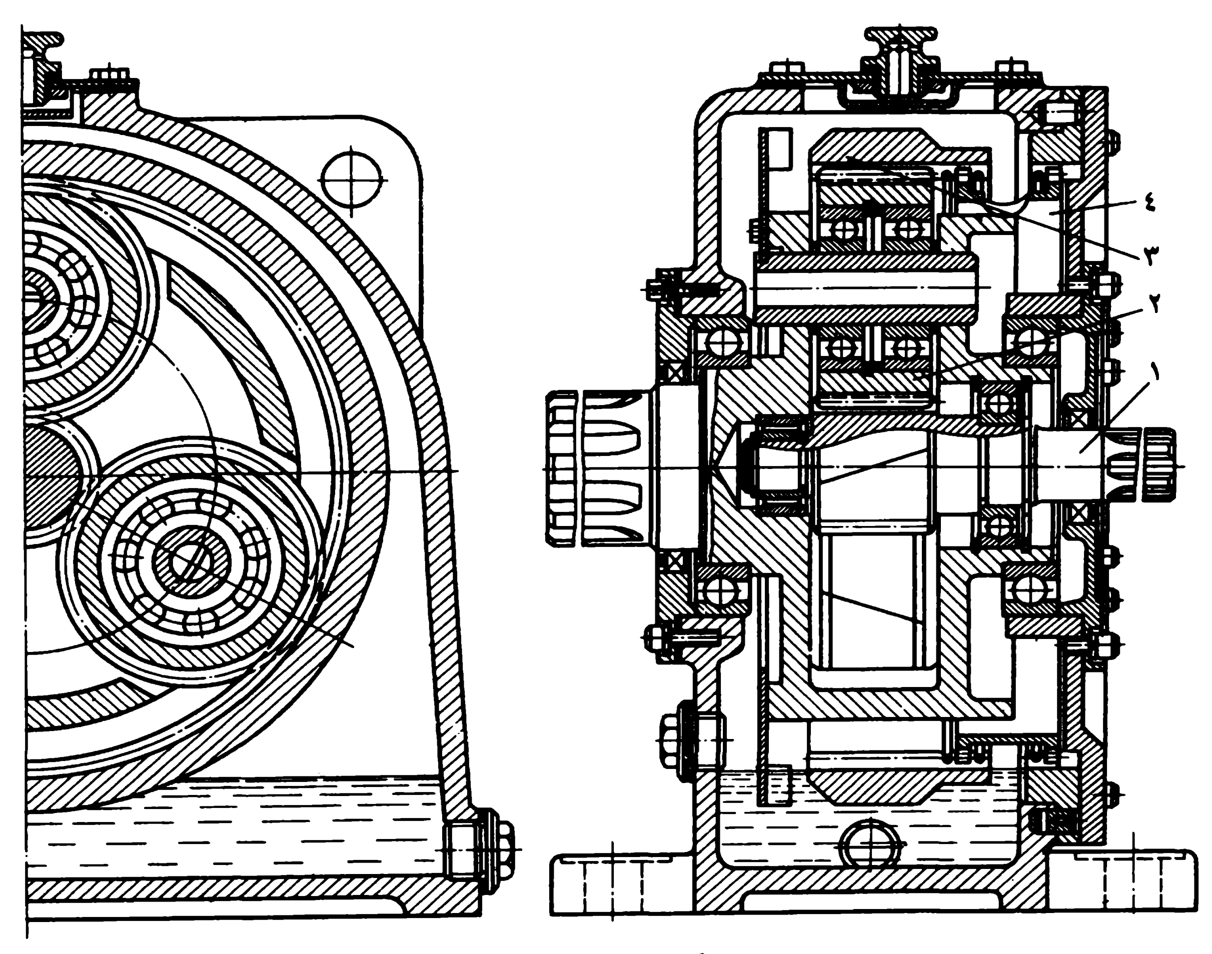


الشكل ٢١ - ٥



الشكل ٢١ - ٦

بحيث تكون " عائمة " مما يساعد على تسوية توزيع الحمل بين التوابع ٢ الداخلة فى التعشيق مع الترس القائد ١ . والقوى المحيطية المنقولة بواسطة التوابع الى العجلة ٣ تكون عزما يتلقاه جسم المخفض عن طريق قابض مسنن مزدوج ٤ .

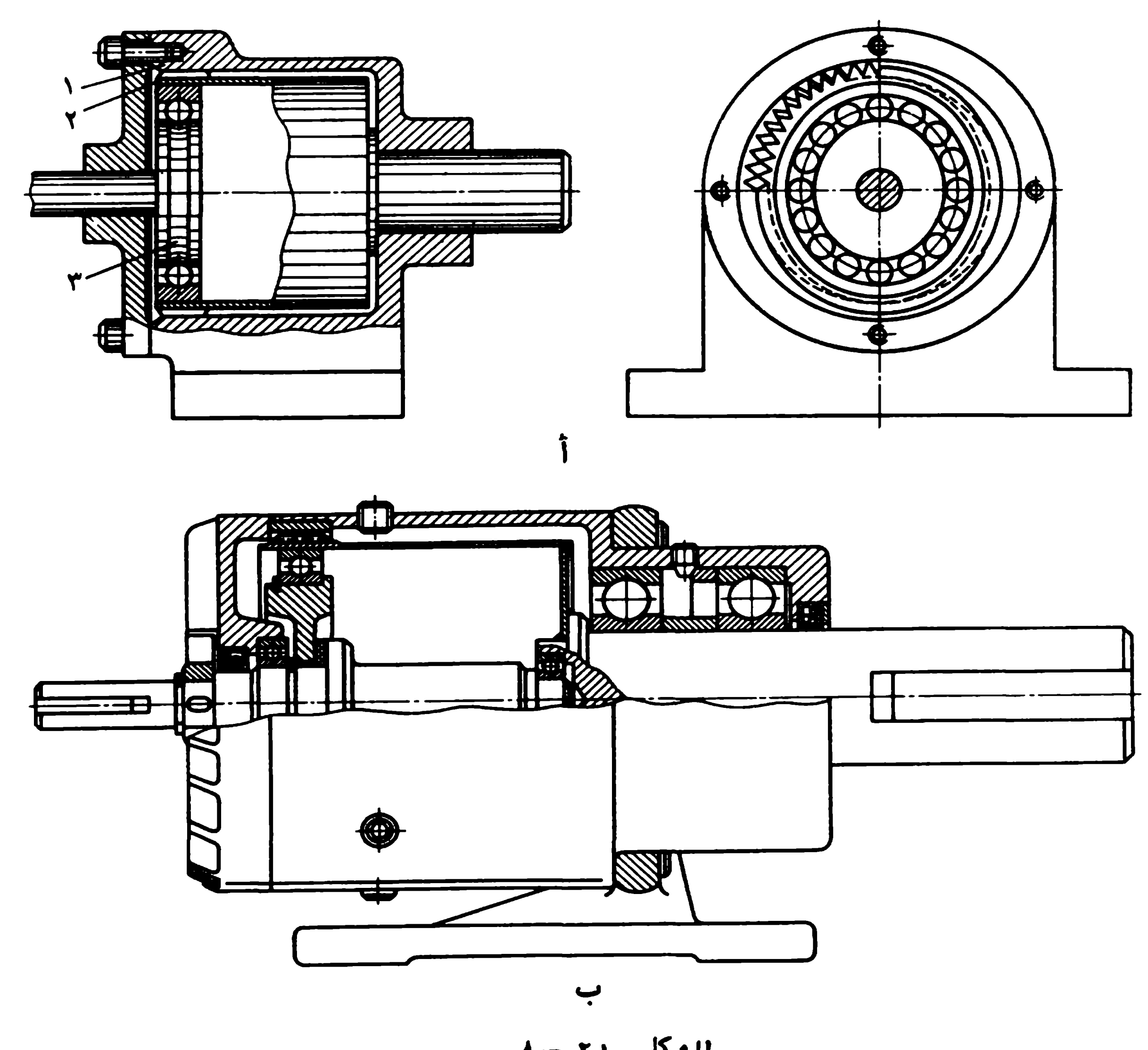


الشكل ٢١ - ٧

المخفضات المسننة الموجية . تعتبر هذه المخفضات فى الواقع كوكبية من وجهة نظر الكينماتكيا . وتتكون وسيلة نقل الحركة الموجية من حلقات أساسية ثلاث (الشكل ٢١ - ٨، أ) هى : حافة جاسئة غير متحركة ١ مزودة بأسنان داخلية ، عجلة مرنة متحركة ٢ مزودة بأسنان خارجية ، العمود الناقل - مولد الموجات ٣. وللعجلة المرنة قطر أقل من الحافة الجاسئة الا أنها تشوه بواسطة مولد الموجة المركب فيها بحيث تكتسب شكل القطع الناقص، وفى اتجاه محوره الاكبر يتساوى قطرا الحلقتين الجاسئة والمرنة، وتدخل الاسنان المعنية القريبة منه فى التعشيق . وعند دوران المولد تتبعه موجة تشوه الحافة المرنة ، وبناء عليه تبدأ العجلة المرنة فى الدوران .

يوجد العديد من مختلف أشكال المخفضات الموجية على اختلاف انواعها التصميمية، تضمن بالاضافة الى الوزن القليل والابعاد الصغيرة ، الحصول على نسبة كبيرة لنقل السرعة i بخطوة

واحدة (١٠٠ واكثر) ونقل الاحمال الكبرى حيث أنه يمكن أن يوجد فى التعشيق ما يصل الى ثلث مجموع الاسنان. وأسنان العجلات المعشقة يمكنها أن تكون انفوليوتية أو بشكل مثلث. ويدخل فى عداد العيوب أن انخفاض معامل الكفاية η (٠٫٧٥ ÷ ٠٫٨٥)، وقصر عمر خدمتها. والشكل ٢١ – ٨ ، يوضح مخفض تروس موجى بخطوة واحدة.



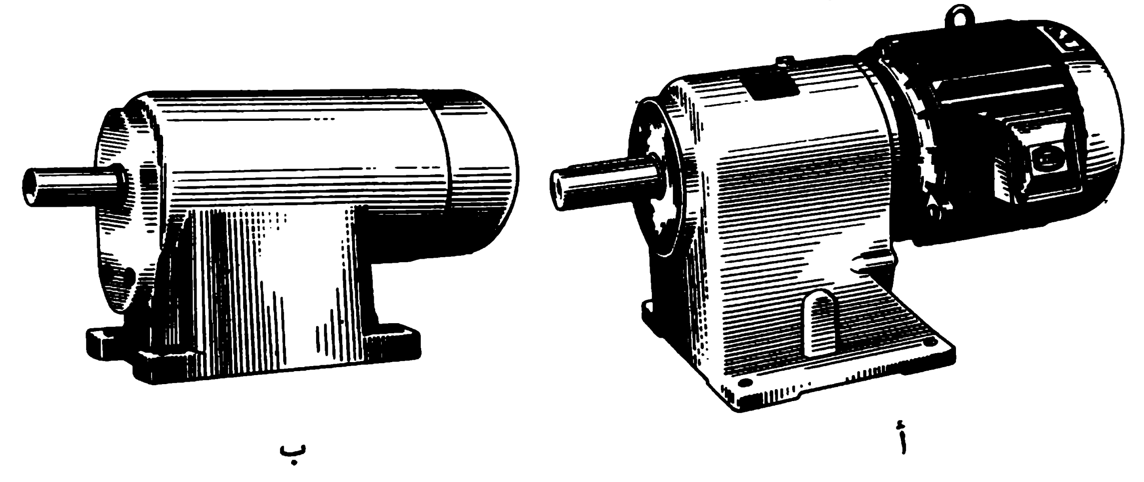
الشكل ٢١ – ٨

<u>المحركات – المخفضات</u>. تحصل المخفضات المركبة (محرك – مخفض) على انتشار واسع، وتستخدم للقدرات غير الكبيرة نسبيا، ويوضح الشكل ٢١ – ٩ ، أحد تصاميم المحرك – المخفض، حيث يستخدم فيه محرك كهربى شفهى مثبت فى جسم المخفض. وتعتبر المحركات الكهربية الخاصة بتخفيض السرعة شكلا آخر من هذه التصاميم، وهى تتميز بالجمع بين الجزئين الكهربى والميكانيكى فى جسم واحد له بعد قطرى يطابق نظيره فى المحرك الكهربى (الشكل ٢١-٩ ، أ).

<u>المغيرات الاحتكاكية</u>. يوضح الشكل ٢١ – ١٠ مغيرين جبهى واسطوانى كمثالين على التصاميم المنتشرة فى المغيرات. وفى المغير

الجبهى (الشكل ٢١ - ١٠ ، أ) تنتقل الحركة الدورانية من القرص القائد ١ بواسطة مجريين عبر اسطوانات مخروطية ٢ تثبت محاورها بلوالب ضبط ٣ ذات اسنان يمينية ويسارية على قرصين منقادين ٤ . والحركة الدورانية تنتقل الى العمود المنقاد من العجلات المسننة ٥ الى العجلة المسننة ٦ . ويعمل المغير فى حمام زيت . ومجال التنظيم D يتراوح بين ٦ و ١٠ ، وتصل القدرة المنقولة الى ١٨ كيلووات .

وفى تصميم المغير الاسطوانى يقوم مرصان ١ بوظيفة العجلتين الاحتكاكيتين ، وتتدحرج عليهما اسطوانتان ٢ (الشكل ٢١ - ١٠ ،



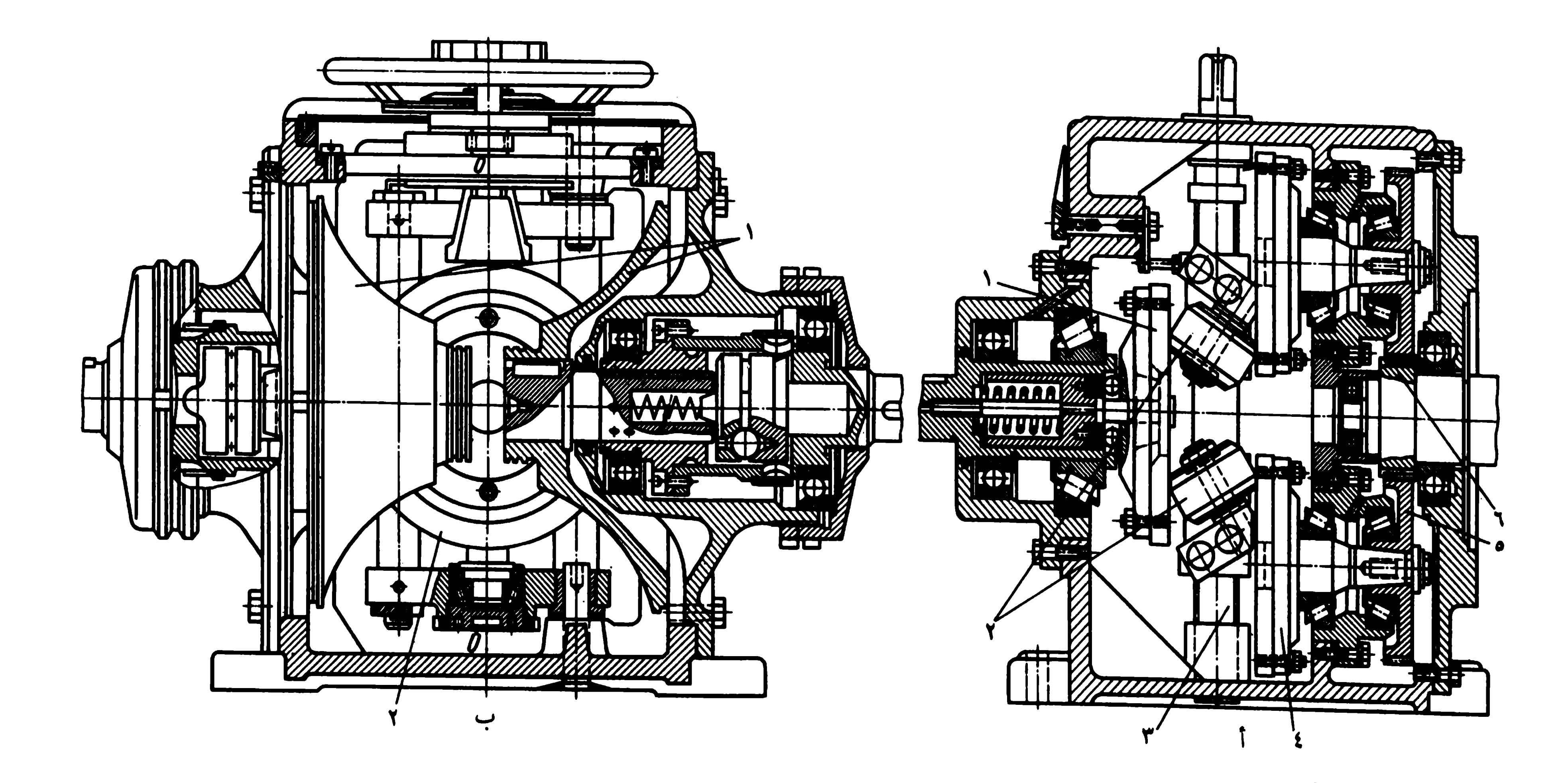
أ ب

الشكل ٢١ - ٩

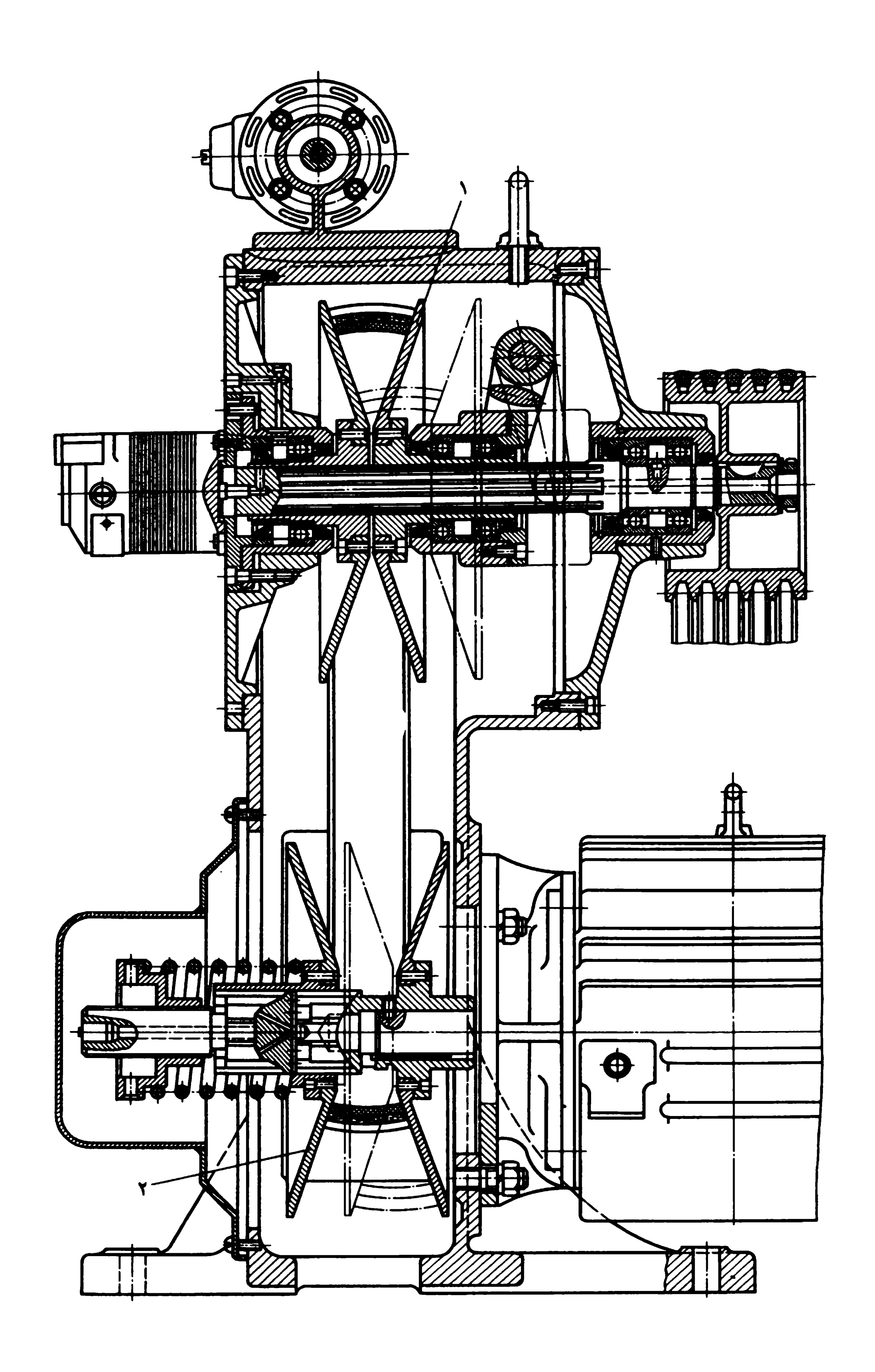
ب) . ويمكن للاخيرتين أن تدوران حول المحور O (انظر الجدول ٢١-٢ ، الرسم ٣) ، ونتيجة ذلك يتم التوصل الى تغير نسبة نقل السرعة . وتحسب وسيلة نقل الحركة من هذا الطراز على قدرة تصل الى ٢٠ كيلووات .

المغيرات ذات السيور بمقطع V . ان المغيرات التى يستخدم فيها مختلف انواع السيور ذات المقطع V ، تكون هى الاخرى مختلفة اختلافا واسعا . اذ توجد المغيرات ذات السيور القياسية والسيور العريضة ، والمغيرات ذات بكرة منظمة واحدة أو اثنتين أو أربع ، كما وان هناك مغيرات ومنها ما هو ذات تحكم اوتوماتيكى فى الشد وغيرها . والشكل ٢١ - ١١ يوضح مغيرا ذا بكرة منظمة ١ وأخرى قائدة زنبركية ٢ . وتنظيم نسبة نقل السرعة يمكن أن يجرى أما يدويا أو بالادارة عن بعد . ومجال التنظيم D يساوى ٤ ؛ ويتراوح معامل الكفاية η بين ٠,٨ و ٠,٩ . اما القدرة N فتتراوح بين ٥ و ١٠ كيلووات .

المغيرات بالسلاسل . يبين الشكل ٢١ - ١٢ ، أ اكثر تصاميم هذا النوع انتشارا . وفى المغير ذى السلسلة والمخروطات المسننة تستخدم سلاسل خاصة تكون الواحها متحركة . وهذه الالواح ٢ تدخل التعشيق مع الاسنان الموجودة على أسطح المخروطين المسننين ٣ وذلك بفضل جعل الاسنان والفراغات

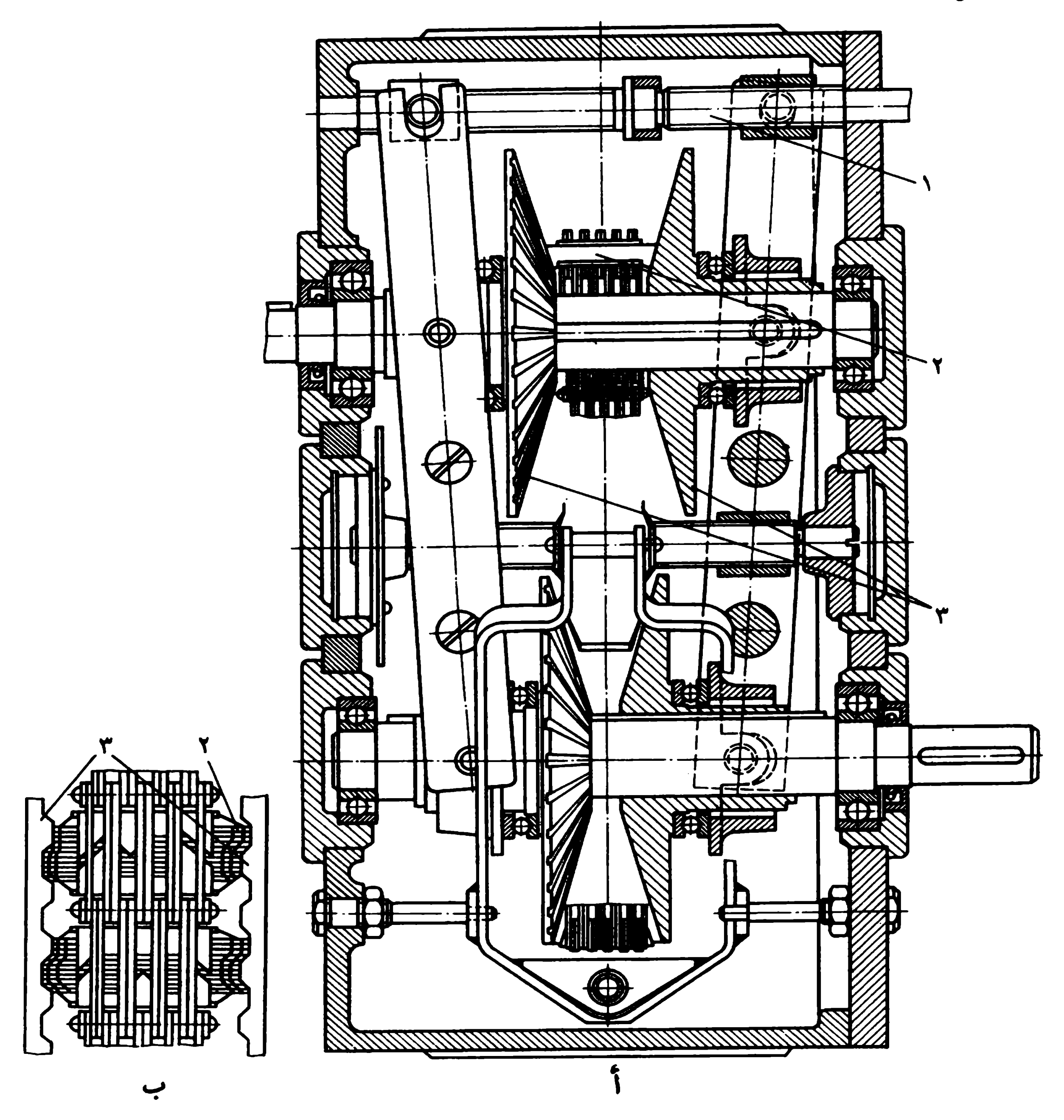


الشكل ٢١ - ١٠



الشكل ٢١ - ١١

منحرفة بمقدار نصف الخطوة فى أحد المخروطين بالنسبة للآخر على نفس العمود (الشكل ٢١ - ١٢ ، ب) . ولتغيير مقدار نسبة نقل السرعة يقرب المخروطان من بعضهما على أحد العمودين ، ويعبد الآخران عن بعضهما على العمود الآخر وذلك بمساعدة لولب خاص ١ . وحيث أن طول السلسلة ثابت ، فانها تنزاح فى مستوى



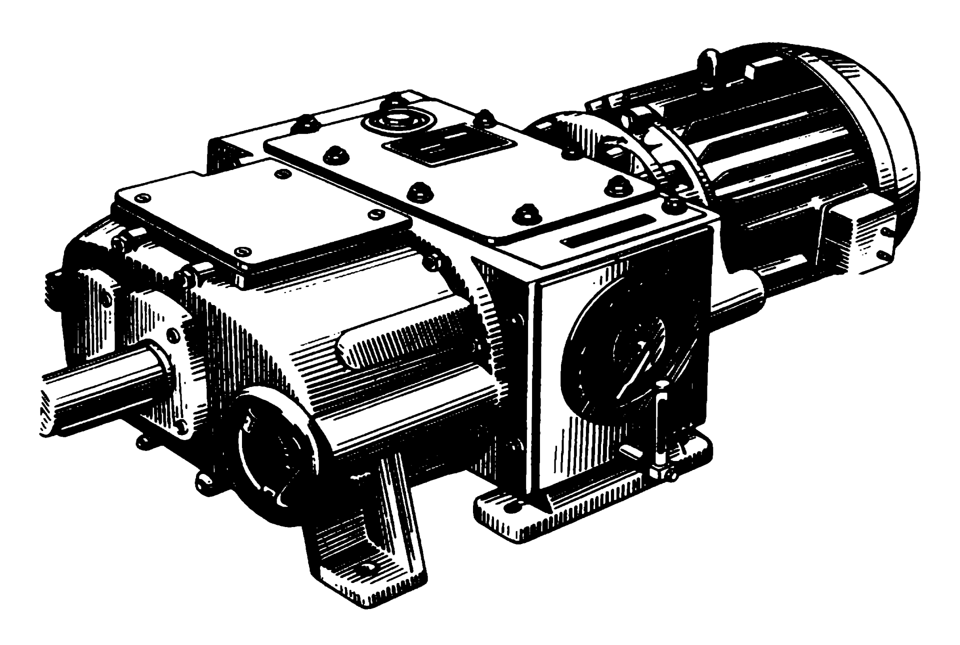
الشكل ٢١ - ١٢

عمودى على الاعمدة ، وتتخذ موضعها على المخروطات من دوائر تكون أقطارها مختلفة عن الوضع الاول . وأكبر مجال للتنظيم D هو ٧ ، والقدرة المنقولة N تساوى ٧٥ كيلووات ، وسرعة السلسلة ٥ - ٩ أمتار/ثانية ، ويعتمد معامل الكفاية ($\eta = 0.85 \div 0.95$) على نسبة نقل السرعة وذلك عند وجود الحمل الكامل .

<u>الوسائل المختلطة لنقل الحركة</u> . تتكون مثل هذه الوسيلة من وسيلة لنقل الحركة بالتروس ومن مغاير يركبان فى جسم واحد

ويعتبران وسيلة منظمة لنقل الحركة مع تخفيض سرعة العمود المنقاد. والشكل (٢١ - ١٣) يوضح محرك - مفاير يتكون من مفاير بالسلاسل ومخفض كوكبى (صناعة جمهورية تشيكوسلوفاكيا الاشتراكية)، بقدرة ٦ كيلووات، وبسرعة للعمود المنقاد تتراوح بين الصفر و٥٠٠ لفة/دقيقة.

والتزييت. يتم تزيت عناصر التعشيق فى المخفضات اما بغمس أسنان العجلات فى حوض من الزيت (التزييت بالغمس)، واما بايصال الزيت الى منطقة التعشيق عبر نافورات خاصة (التزييت بالنفث)



الشكل (٢١ - ١٣)

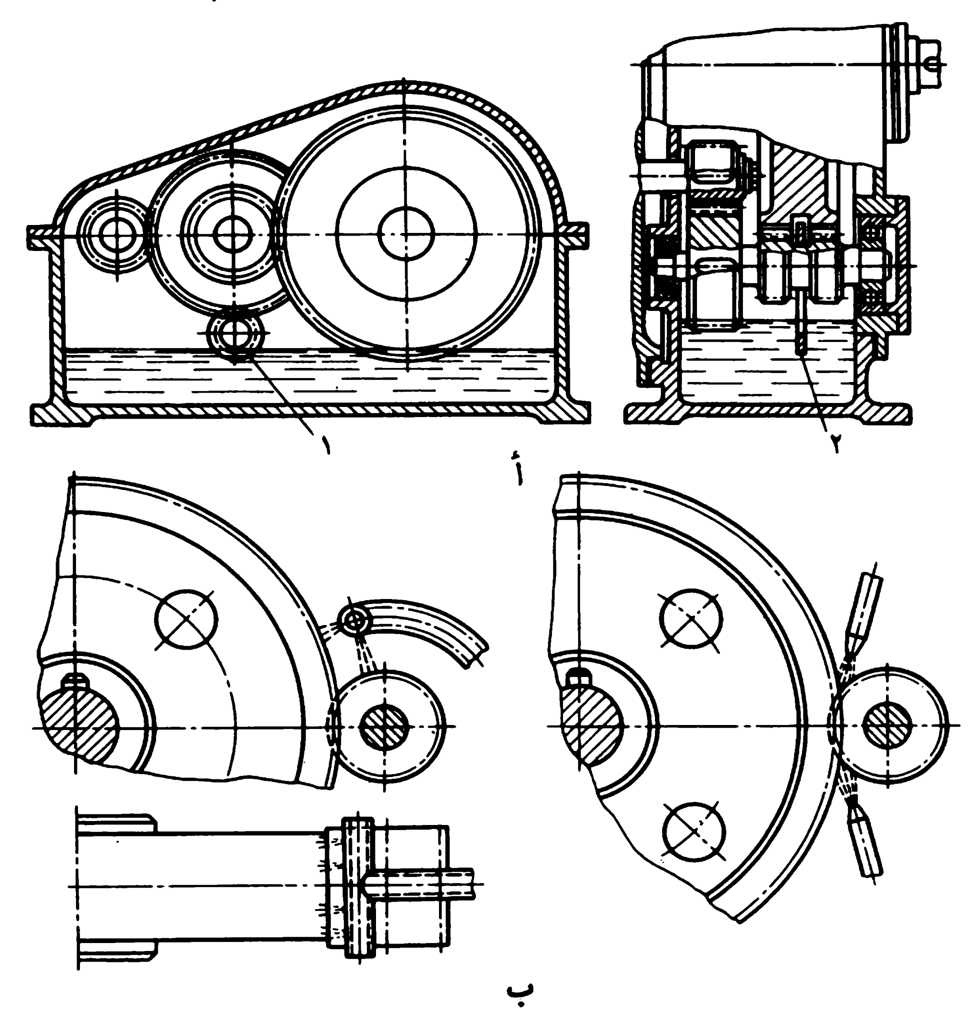
واكثر انواع التزييت فعالية هو تزييت عناصر التعشيق وكراسى المحاور فى المخفضات ذات القدرات المتوسطة (وخصوصا الكوكبية من أى نوع منها) بواسطة الضباب الزيتى. اذ يجرى رش الزيت اما بعجلات دوارة، واما بأجنحة صغيرة (انظر الشكل (٢١ - ٧).

ويتقيد استخدام طريقة التزييت بالغمس بالسرعة ١٢ مترا فى الثانية. وفى أحوال السرعات الاكبر من ذلك يطرد الزيت بفعل قوة الطرد المركزى وتعمل عناصر التعشيق بكمية غير كافية من التزييت. وتغمس فى الزيت العجلة المسننة الاكبر فى وسيلة نقل الحركة. وينصح بتغميس العجلات السريعة فى الزيت بعمق يصل الى ٠ر٧ من ارتفاع السنة، على الا يقل عن ١٠ مم. وفى وسائل نقل الحركة بالتروس المخروطية يؤخذ مقدار غمس العجلات فى الزيت بحيث توجد الاسنان بطولها كله. وعند عدم وجود امكانية ضمان تزييت كل عناصر التعشيق من وسيلة نقل الحركة البطيئة ذات المراحل المتعددة بواسطة غمس العجلات الكبرى، تستخدم لتزييت بعض العجلات (غير المغموسة فى الزيت) تجهيزات أو أجزاء خاصة: الترس ١ والعجلة ٢ وغيرهما (الشكل (٢١ - ١٤، أ). وسعة حوض الزيت يجب أن

تكون ٠ر٣٥ - ٠ر٧ لترا من الزيت لكل كيلووات واحد من القدرة المنقولة.

ويستخدم التزييت بالنفث عندما تكون السرعة المحيطية v اكبر من ١٢ ÷ ١٥ مترا/ثانية، ويتم بمساعدة نافورات خاصة ينساب منها الزيت عبر أنابيب بواسطة مضخة (الشكل ٢١ - ١٤، ب). ويلزم للتزييت تحت ضغط خطوط أنابيب خاصة، وتجهيزات لترشيح الزيت وتبريده وتنظيم التغذية به.

وللسرعات الكبرى (اكثر من ٢٠ مترا/ثانية) يوصل الزيت الى أسنان كل عجلة على حدة، حيث أنه اذا لم يراعى ذلك، تسوء



الشكل ٢١ - ١٤

ظروف عمل التعشيق. وللسرعات العالية جدا للعجلات، يوصل الزيت الى منطقة التعشيق من الاتجاه المضاد لاتجاه حركة الاسنان فى منطقة التماس.

وفى وسائل نقل الحركة ذات المراحل العديدة، تؤخذ لزوجة الزيت بالقيمة المتوسطة بين قيمتى اللزوجة المطلوبة للمرحلتين الاولى والاخيرة فى وسيلة نقل الحركة. وعند ضرورة تزييت العجلات المسننة وكراسى المحاور بزيت واحد، تعين ماركة الزيت بما يتفق والتعشيق بالاسنان.

ويستخدم التزييت بالغمس فى المخفضات الدودية عندما تصل السرعة المحيطية v للدودة الى ١٠ أمتار/ثانية. والعجلة الدودية (عندما تكون الدودة فوق العجلة)، أو الدودة يجب أن تكونان مغموستين فى الزيت بما لا يزيد عن ارتفاع السنة أو سنة الدودة. ولكن مع وجود الدودة تحت العجلة يجب الا يرتفع مستوى الزيت عن مركز عضو التدحرج الادنى (سواء من الكريات أو الاسطوانات) من كراسى محور عمود الدودة؛ وهذا ضرورى بغية تقليل الفقد فى كراسى المحاور، ولتبسيط تصميم وسائل الاحكام فى كراسى المحاور. وفى حالة ما اذا ظهر فى هذه الظروف أن الدودة ليست مغموسة فى الزيت، يجب أن تركب عليها حلقة ذات زعانف (انظر الشكل (٢ ـ ٥)، تقذف الزيت مع دوران الدودة على العجلة الدودية.

حساب المخفضات والمغيرات

المخفضات ذات التروس، والدودات، والسلاسل. يجرى حساب المخفضات بواسطة الصيغ الواردة فى الفصول السابقة تبعا لنوع وسيلة نقل الحركة المستخدمة فى المخفض. أما حساب الاجزاء الاخرى ـ الاعمدة وكراسى المحاور، والوصلات وغيرها ـ فيجرى تبعا للتوصيات والمعطيات الواردة فى الابواب الخاصة.

المخفضات الكوكبية. حيث أن فى وسائل نقل الحركة الكوكبية تستخدم عدة توابع ـ أقلها ثلاثة ـ لذلك يجب مراعاة شروط معينة لضمان توزيعها المنتظم (المتماثل) حول دائرة مراكزها.

الشرط الاول ـ الجوار. لكى لا تتلامس العجلات المسننة باقطارها الخارجية، يلزم أن يكون مجموع أنصاف القطرين الخارجيين لتابعين متجاورين أقل من المسافة بين محوريهما (انظر الشكل (٢ ـ ١) أى أن المسافة يجب أن تساوى

$$L = 2A_{12} \sin \frac{\pi}{a} = z_2 m + 2m(1 + \xi) + \Delta, \qquad (21.1)$$

حيث Δ ـ الخلوص بين العجلتين، والذى يجب الا يقل عن ١ مم؛

a ـ عدد التوابع.

الشرط الثانى ـ الاشتراك فى المحور. تدخل التوابع فى التعشيق مع عجلتين مركزيتين. وحيث أن أعمدة العجلات فى وسائل نقل الحركة ذات العجلات الاسطوانية تكون متوازية، فان المسافات بين محورى كل زوج عن العجلات يجب أن تكون

متساوية فيما بينها (الشكل ٢١ - ١) :

$$A_{12} = A_{23} ; A_{12} = A_{23} = A_{2'3'}$$

واذا لم تكن العجلات معدلة أو انها معدلة فى الارتفاع، فيمكن كتابة الشروط التالية حسب الرسم أ (انظر الشكل ٢١ - ١)

$$z_1 + z_2 = z_3 - z_2,$$

أى أن

$$z_1 + 2z_2 = z_3. \quad (21.2)$$

وبالنسبة لوسيلة نقل الحركة المبينة فى الشكل (٢١ - ١ ، جـ) فلها شرطان : الاول هو الشرط (21.2) ، والثانى

$$m_2(z_3 - z_2) = m'_2(z_{3'} - z_{2'}). \quad (21.3)$$

وفى أغلب الاحوال تكون $m_{2'} = m_2$ ، وعندها يصبح الشرط (21.3) على الصورة التالية :

$$z_3 - z_2 = z_{3'} - z_{2'}.$$

وضرورة تحقيق الشرطين (21.2) و(21.3) تصعب اختيار عدد الاسنان . وحل هذه المسألة يمكن تسهيله اذا ما أخذ التصحيح الزاوى فى الاعتبار .

الشرط الثالث ـ التطابق . ان عدد اسنان العجلات الموجودة فى التعشيق يجب أن يحقق علاوة على الشرطين (21.2)،(21.3) ، شرط تطابق الاسنان مع التجويفات فى العجلات المعشقة مع التوزيع المنتظم للتوابع حول محيط دائرة مراكزها . ويمكن الوصول الى شرط التطابق بسهولة اذا ما أخذ فى الاعتبار أن المنحنى الذى يتكون من مجموع أجزاء دوائر الاساس للعجلات والتى تكون فيما بينها اطارا مغلقا (الشكل ٢١ - ١ ، د) يجب أن يتسع لعدد صحيح من الخطوات (واذا لم يتحقق هذا الشرط يستحيل تعشيق العجلات) ، مما ينتج عنه أن

$$\frac{z_1 + z_3}{a} = k. \quad (21.4)$$

حيث k ـ عدد صحيح .

وفى حالة ما اذا كانت التوابع مزودة بحواف مزدوجة مسننة ببعدين مختلفين ، يمكن تجميع المخفض اذا ما كان لكل من العجلتين المركزيتين ١ ، ٣ عدد من الاسنان مضاعف لعدد أسنان التوابع.

ويجرى حساب الاسنان على المتانة من واقع الصيغ الواردة فى الباب الخامس العشر، مع اعتبار الخصائص التالية. وينظر الى تعشيق كل زوج من العجلات على حدة: فمثلا بالنسبة لوسيلة نقل الحركة الموضحة فى الشكل (٢١ - ١،أ) ، التعشيق الخارجى للعجلتين ١ - ٢ والتعشيق الداخلى للعجلتين ٢ - ٣ (سوف نرمز لكل من الترسين الصغيرين فى كل من الزوجين بالرمز s). والعزم المؤثر على العجلة الصغرى

$$M_s = \frac{M_1 k_{pin}}{a} \cdot \frac{z_s}{z_1} \tag{21.5}$$

حيث z_s - عدد أسنان العجلة الصغرى (أى أنه يمكن أن يكون $z_s = z_1$ أو $z_s = z_2$ اذا كان $z_1 > z_2$) ؛

$k_{pin} = \frac{P_{max}}{P_m}$ - وهو معامل عدم انتظام توزيع الحمل بين التوابع ، ويساوى النسبة بين الحمل الاقصى الذى يصيب التابع الواحد P_{max} الى الحمل المتوسط .

وتصل قيمة المعامل k_{pin} الى قيم كبيرة (حتى ٢) تبعا لدرجة دقة التصنيع والقطر ومادة العجلة . ويمكن بالتقريب اعتبار $k_{pin} = 1.4 \div 1.6$ بالنسبة لوسيلة نقل الحركة من درجة الدقة السابعة. واذا استخدمت العجلات المركزية العائمة، والقادرة على تسوية توزيع الاحمال يصبح المعامل k_{pin} مساويا للمقدار ١ر١ ÷ ٢ر١ .

وعند تحديد عدد دورات الاجهادات يلزم الاخذ فى الاعتبار عدد لفات (دورات) العجلات بالنسبة للذراع الرابط والناقل ، وعدد التوابع.

<u>المخفضات الموجية.</u> كما هو معلوم من نظرية الماكينات فان نسبة نقل السرعة فى المخفض (انظر الشكل ٢١ - ٨)

$$i = \frac{z_2}{z_1 - z_2} = \frac{d_2}{d_1 - d_2},$$

ومن هنا فان الفرق بين قطرى الحافتين ، وبالتالى ، مقدار التشويه اللازم هو :

$$\delta = d_1 - d_2 = \frac{d_2}{i}. \tag{21.6}$$

وبالنسبة لوسيلة نقل الحركة المزدوجة الموجة يؤخذ $z_1 - z_2 = 2$. ومودیول وسيلة نقل الحركة يتحدد من الشرط

$$(d_1 - d_2) = (z_1 - z_2)m = \delta$$

ومن هنا

$$m = \frac{\delta}{z_1 - z_2} = 0.5\delta. \qquad (21.7)$$

وارتفاع الاسنان h يؤخذ مساويا لمقدار δ ، وارتفاع الرؤوس 0.44δ ، والجذوع 0.56δ . وفى منطقة التماس يجرى تماس الاسنان بأعماق مختلفة فى دخول الاسنان فى التماس - من التماس الكامل وحتى الصفر ؛ والمتوسط هو $0.5h$. وعندما يجرى التعشيق بين ربع عدد الاسنان فى العجلة، يكون مجموع اسطح تماس الاسنان

$$F = 0.5h \times 0.25 z_2 b,$$

حيث b - عرض الحواف ؛ وفى العادة تكون $b = (0.1 \div 0.2)\, d_2$
والعزم المنقول يمكن حسابه بالتقريب يساوى

$$M = 0.5 d_2 F[\sigma]_{com} \approx 0.06\, d_2^2 \delta\, b z_2\, [\sigma]_{com}, \qquad (21.8)$$

حيث $[\sigma]_{com}$ - اجهاد السحق المسموح به (وهو بالنسبة للعجلات المصنوعة من الصلب المقسى يصل الى ٣٠٠ كجم/سم^{٢}).
وتحسب العجلة المرنة على المتانة حسب التشويه δ المعطى .

المغيرات. يجرى حساب متانة العناصر الاساسية فى المغيرات، بما يتفق والتوصيات التى أوردناها فيما سبق عندما استعرضنا وسائل نقل الحركة بالاحتكاك وبالسير وبالسلاسل . ويجرى تحديد القوى لحساب الاعمدة وكراسى المحاور تبعا للاشكال الخاصة بنقل الحركة.

ويعتبر مجال التنظيم D هو البارامتر الرئيسى الذى يوصف مغيّر السرعات (انظر ص ٣٧٨). وكمثال على ذلك ، سوف نستعرض تحديد مجال التنظيم لمغيّر السرعات بواسطة السيور ذات المقطع (V) (الرسم ٦ من الجدول ٢١ - ٢).

وعند وجود بكرة واحدة قابلة للتنظيم واخرى ثابتة، وعندما يكون r_{max} ، r_{min} وهما نصفا القطرين الاكبر والاصغر لدائرتى تواجد السير على البكرة المنظمة ، يكون مجال التنظيم : $D_1 = \frac{r_{max}}{r_{min}}$. والنسبة بين r_{max} ، r_{min} يمكن التعبير عنها من خلال أبعاد شكل مقطع السير (h, b) بالصورة التالية (الشكل ١٢ - ١٥) :

$$r_{max} = r_{min} + e - h = r_{min} + \frac{b}{2}\cot\frac{\varphi}{2} - h;$$

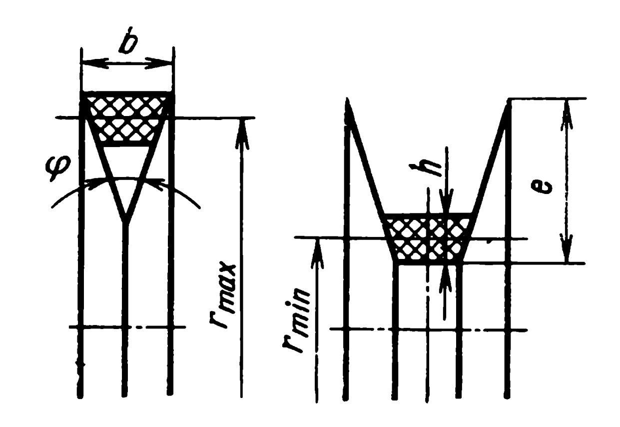
وبناء على ذلك

$$D = \frac{r_{max}}{r_{min}} = 1 + \frac{e}{r_{min}} - \frac{h}{r_{min}} = 1 + \frac{b}{2r_{min}} \cot\frac{\varphi}{2} - \frac{h}{r} .$$

أما اذا كانت البكرة الثانية تنظم أيضا، علما بأن $D_2 = D_1$ ، فان المجال العام للتنظيم فى هذا المغير يكون $D = D_1^2$.

ومن الصيغة (21.9) يتضح أنه يمكن حساب مجال التنظيم عندما تستخدم بكرات بتصميم أصعب وفيها الارتفاع العامل للقنوات $e > \frac{b}{2} \cot\frac{\varphi}{2}$ ، وكذلك عند استخدام سيور ذات مقاطع خاصة - " العريضة "، بعرض اكبر (بالمقارنة مع المواصفات القياسية $b \approx 18h$) ، ونسبة اكبر بين العرض والارتفاع - $b \approx (2 \div 3)h$.

وأخيرا يمكن أيضا استخدام وسيلة مزدوجة لنقل الحركة ذات أربع بكرات قابلة للتنظيم، وفيها يكون مجال التنظيم $D = D_1^4$.



الشكل ٢١ - ١٥

حساب ارتفاع درجة الحرارة . ان الفقد فى القدرة يؤدى الى ارتفاع درجة حرارة وسيلة نقل الحركة. وتجنبا لاصابة الوسيلة بالاعطاب، يجب الا تزيد درجة حرارتها عن حد معين. ولمراعاة هذا الشرط يلزم أن تكون كمية الحرارة المتولدة فى المخفض أو المغير [المعادلة (2.37)] ، أقل من كمية الحرارة التى يمكن لسطح جسمه أن ينقلها الى الوسط المحيط مع تحديد معين لدرجة الحرارة ، أى أنه يلزم مراعاة الشرط (2.38) . وعند عدم مراعاة هذا الشرط، يصنع الجسم مزودا بزعانف ، مع مراعاة أنه عند حساب F_m فى الصيغة (2.38) يؤخذ ٥٠ ٪ فقط من مساحة الزعانف . وتركب على عمود الدودة من الخارج مروحة تكون تيارا متواصلا من الهواء على طول جسم وسيلة نقل الحركة (انظر الشكل ٢١ - ٥) . ويؤخذ معامل انتقال الحرارة لجزء الجسم المبرد بالهواء تبعا للسرعة المتوسطة لحركة الهواء v بالمتر/ثانية من الصيغة

$$k_c = 12\sqrt{v}\ \text{kcal/h} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{deg.} \qquad (21.10)$$

وسرعة حركة الهواء، يمكن تحديدها بالتقريب تبعا لعدد لفات (دورات) المروحة n_{im} ، من العلاقة التجريبية :

$$v \approx 0.005 n_{im}\ \text{m/sec.}$$

وعلى ذلك يكون نظام درجات الحرارة

$$Q \leqslant (k_n F_n + k_c F_c)(t_1 - t_2) \text{ kcal/h}, \qquad (21.11)$$

حيث F_n, F_c - على التوالى ، مساحة سطح الجسم المبرد بالمروحة وغير المبرد بها (متر مربع) ؛
k_n, k_c - على التوالى ، معاملا تبادل الحرارة (كيلوكالورى/ساعة . متر مربع · درجة حرارة واحدة) ؛
t_1, t_2 - على التوالى ، درجة حرارة زيت التزييت المسموح بها فى مخفض السرعة ودرجة حرارة الوسط المحيط .

اختيار مخفضات السرعة . بغية تحديد مقدرة الحمل لدى وسائل نقل الحركة من مختلف الانواع وخصوصا مخفضات السرعة ومغيراتها ، تعرض الاخيرة لعمليات اختبار . وهذه الاختبارات تنقسم الى اختبارات انتاجية، واختبارات للبحوث العلمية . واجراء الاختبارات الانتاجية تستهدف غرضين - اختبار وتقييم نوعية تصنيع وتجميع المخفضات وتشغيلها تحت الحمل (وتسمى هذه العملية بتليين وسيلة نقل الحركة) وذلك لزيادة معامل كفايتها وعمر خدمتها (امد عطلها) . أما هدف اختبارات البحوث العلمية فهو تحديد تأثير العوامل التصميمية والهندسية وعوامل الاستخدام على مقدرة الحمل ومعامل الكفاية فى وسيلة نقل الحركة واختيار الحلول التصميمية الامثل .

وتجرى الاختبارات على أجهزة خاصة تتكون من محطة للادارة والوسيلة المراد اختبارها وجهاز التحميل ومنظومة التزييت وأجهزة التحكم والتنظيم .

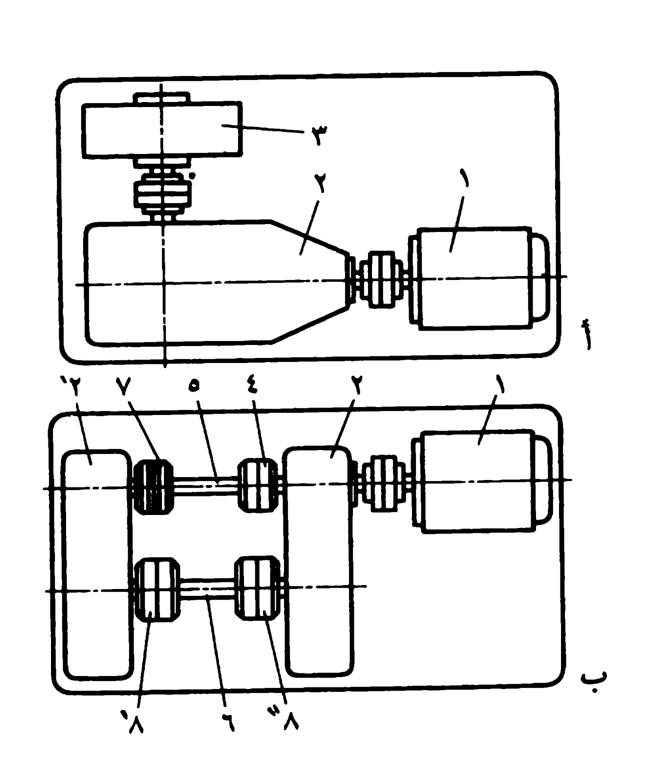
وحسب مبدأ تحميل الوسائل المراد اختبارها ، يمكن تقسيم تركيب أجهزة الاختبار الى مجموعتين - مغلقة ومفتوحة. والجهاز المفتوح يتميز أن التحميل يقوم بواسطة أجهزة فرملية مختلفة، وبأنه يلزم لادارة وسيلة نقل الحركة ايصال قدرة تزيد عن القدرة التى يسلطها جهاز التحميل ، (فى اخذ معامل كفاية جهاز الاختبار فى الاعتبار) . وهذا هو العيب الرئيسى لهذا الجهاز. وعلاوة على ذلك فان هذا الجهاز كبير فى أبعاده ويتطلب تجهيزا خاصا للتبريد . وعلاوة على ذلك فيمكن أن يكون جهازا بسيطا اذا كانت القدرة المنقولة صغيرة . وتستخدم الكابحات (الفرامل) (سواء الشريطية ، أو بالحذاء الفرملى ، أو متعددة الاقراص، أو الايدرولية . . . وما الى ذلك) ، وكذلك المضخات، ومولدات الكهرباء، . . . الخ ، تستخدم كأجهزة للتحميل . ولتعيين معامل كفاية وسيلة نقل الحركة بمساعدة المحركات الكهربة الموازنة (وهى ذات العضو الساكن القابل للحركة الزاوية) ، والدينامومترات المركبة على أجهزة

التحميل ، يقاس العزم على العمودين القائد والمنقاد في وسيلة نقل الحركة.

والشكل ٢١ - ١٦ ، أ ، يبين رسم جهاز التجارب المفتوح : ١ - محرك كهربى ، ٢ - المخفض موضع التجربة ، ٣ - جهاز التحميل .

ويحتوى جهاز التجارب المغلق علاوة على وسيلة نقل الحركة موضع التجربة ، وسيلة أخرى مساعدة لنقل الحركة ، يتم بمساعدتها تكوين دائرة مغلقة ، تتعرض بهذا الشكل أو ذاك للتحميل الداخلي . وتصرف طاقة المحرك الكهربى فقط على التغلب على الاحتكاك في كل وحدات جهاز التجارب .

وفي جهاز التجارب المغلق الموضح في الشكل ٢١ - ١٦ ، ب ، يجرى تركيب مخفضين ٢ و ٢′ ، يتصل عموداهما ذوا السرعتين المنخفضتين بعمود جاسئ بيني ٦ ، أما العمودين السريعى الحركة فيتصلان بعمود مرن رفيع ٥ . ويكون هذا العمود مجبرا على الالتواء مع ثبات كل عجلات وسائل نقل الحركة. وفي هذه الحالة أيضا يثبت وضع القابض ٧ ، ونتيجة لذلك تنشأ دائرة مغلقة تتكون من وسيلة نقل الحركة ٢ ، والقابض ٤ ، والعمود المرن ٥ ، والقابض ٧ ، ووسيلة نقل الحركة ٢′ ، والقابض ٨ ، والعمود ٦ ، والقابض ٨″ . ونتيجة لمحاولة العمود ٥ التخلص من ليه يجرى تحميل أسنان وسيلتى نقل الحركة ٢ ، ٢′ المعشقتين بقوة تتناسب مع زاوية اللّى الابتدائى للعمود ٥ ، وعند دوران المحرك الكهربى تبدأ بالعمل وسيلتا نقل الحركة تحت حمل ناتج من قوى المرونة في الدائرة المغلقة .



الشكل ٢١ - ١٦

ويمكن للدائرة المبدئية المشار اليها أن تبنى بطريقة أخرى . فالتجهيزات الخاصة بتكوين العمل في الدائرة المغلقة يمكن أن تكون على صورة قوابض احتكاكية واسطوانات مرنة وتجهيزات ايدرولية ومخفضات قابلة لتغيير مواضعها الزاوية ، ومفاضلات وما الى ذلك .

الفصل الرابع

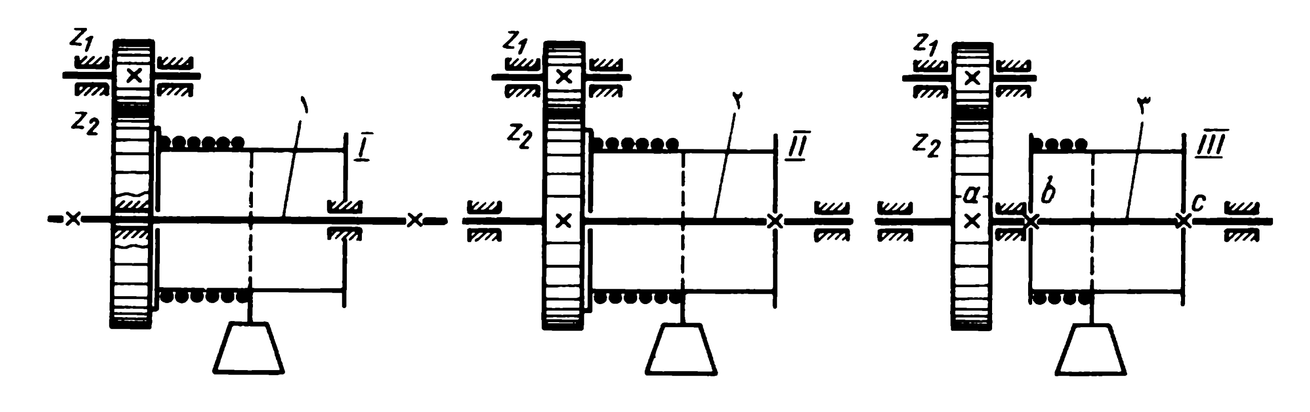
الاعمدة ، المحاور ، القوارن والقوابض ، الركائز

الباب الثانى والعشرون

انواع الاجزاء ومواصفاتها الاساسية

الاجهزة الخاصة بالمحافظة على دوران الاقسام الدوّارة. تركب الاقسام الدوارة فى الماكينة على محاور وأعمدة تقوم بدور المحور الهندسى للدوران .

والمحاور تلعب فقط دور المساعد على دوران الاجزاء الدوارة ويمكنها اما أن تكون ثابتة بالنسبة للاجزاء المركبة عليها ، أو ان تكون



الشكل ٢٢ - ١

دوارة بدورها (وفى هذه الحالة يمكن للمحور أن يكون مصنوعا كقطعة واحدة مع الاجزاء الدوارة) . وفى كلتا الحالتين تعمل المحاور فقد على اجهاد الانحناء (الثنى) .

أما الاعمدة فتختلف عن المحاور لكونها لا تساعد على دوران الاجزاء الدوارة فحسب ، بل أنها تنقل أيضا عزم اللّى على طولها كله أو فى قطاعات معينة منها .

وفى بعض الحالات يمكن حل مسألة تصميمية بعينها باستخدام محور أو عمود . فمثلا ، ان ادارة بكرة آلية رفع الحمل فى المرفاع يمكن ان تتحقق بأى من الرسومات الموضحة فى الشكل ٢٢ - ١ .

ففى التصميم I ، تركب البكرة على محور ثابت وتدار بواسطة زوج من التروس z_1 ، z_2 ، يكون الترس الثانى منه مثبتا على البكرة . وينتقل الحمل الى المحور فى مواضع ارتكاز البكرة عليه .

وفى التصميم *II* ، حلت نفس المسألة بمساعدة محور دوار. والاختلاف فى تحميل المحورين ١ و ٢ ينحصر فى أنه مع ثبات مقدار حمل التشغيل واتجاهه، نجد أن المحور ١ يتلقى انحناء فى اتجاه واحد أما المحور ٢، فيتلقى انحناء مع دوران (انحناء دورانى).

وفى الحل الثالث *III* ، تكون البكرة مثبتة على العمود ٣، أما عزم اللى المنقول من خلال العجلة المسننة z_2 ، فيتلقاه العمود بالكامل فى قطاعه ab وينقله الى البكرة من خلال سرتيها المثبتتين على العمود.

وقضية تسليط هذا الحل أو ذاك، يجب حلها مع التقييم الشامل للخصائص التى يتمتع بها كل منها من تكنولوجية، ومعطيات وزنية وسهولة تركيب وخدمة وفك وتكاليف ... الخ.

وحسب شكل المحور الهندسى، تنقسم الاعمدة الى أعمدة مستقيمة، وأعمدة مرفقية. والاخيرة تعتبر من التركيبات الخاصة. وتبحث مسائل تصميمها فى مناهج "محركات الاحتراق الداخلى" "والضاغطات والمضخات" وغيرها.

والاعمدة ذات المحاور الهندسية المنحنية أو التى تغير شكل محورها الهندسى تشكل مجموعة خاصة - أعمدة الاسلاك المرنة.

<u>وصلة الاعمدة والمحاور بسرّات</u>. يتحدد العمل المتبادل بين المحاور والاعمدة وبين ما يركب عليها من اجزاء دوّارة بطريقة توصيلها بها (الوصلات من طراز العمود - السرّة). وأهم المتطلبات المطروحة على هذه الوصلات هى:

١ - يجب أن تتجاوب الوصلة مع مبدأ تساوى المتانة، أى أنه يجب الا تكون مقدرة حمل الوصلة أقل من مقدرة حمل الاجزاء الموصلة؛

٢ - من المرغوب فيه أن تكون تركيبة الوصلة لا تؤدى الى تخفيض متانة الاجزاء الموصلة، وفى مقدمتها الاعمدة؛

٣ - يجب أن تضمن الوصلة تزاوج العمود والسرة وفقا لمتطلبات المحافظة على الاجزاء والدقة والاتزان؛

٤ - يجب أن يكون تجميع وفك الوصلة بسيطا، وعند الضرورة، يجب أن يكون ذلك التوصيل قابلا للتكرار مرات عديدة وبدون تشغيل اضافى لأسطح التركيب؛

٥ - يجب أن يكون تصميم الوصلة تكنولوجيا، متمشيا مع النطاق المطلوب من الانتاج؛

٦ - يجب ضمان التبادلية بين اجزاء الوصلة، وبدون ضبط أبعادها يدويا بقدر الامكان؛

٧ - يجب أن يكون تآكل الاسطح المتوافقة - أثناء التشغيل معدوما بقدر الامكان.

وحسب طابع الارتباط بين اجزاء، فان الموصلات العمود - السّرة

(الشكل ٢٢ - ٢) ، يمكن تقسيمها الى مجموعات ثلاث: وصلات الترابط الاحتكاكى وبالالتصاق وبالتعشيق .
وتدخل فى عداد المجموعة الاولى الوسلات ذات التداخل المضمون وتنفذ عن طريق التركيب بالكبس ؛ تلك الوصلات التى تدخل فى الخلوص الحلقى بين عمودها وسرتها عناصر مرنة قابلة للانضغاط فى الاتجاه المحورى (حلقات مخروطية من يايات وورداات ورقية وجلب معرجة وغيرها) . . . الخ .
أما المجموعة الثانية فتدخل فيها الوصلات الملصوقة التى يكون فيها العنصر الواصل هو عبارة عن طبقة لاصقة. وبالرغم من أن خبرة استخدام هذه الطريقة فى التوصيل محدودة فى المجال موضع البحث، الا أن هذه الطريقة تعتبر ذات مستقبل .
وتدخل فى مجموعة التوصيل بواسطة التعشيق ، التيلات، والخوابير والخدود (الوصلات المسننة) ، وذات الشكل الخاص (أى بدون خابور)، وغيرها .
والتركيبات المستخدمة فى تصميم الماكينات تحقق بدرجات متفاوتة للمتطلبات الاساسية من الوصلة . ويفسر هذا البحث الدائم عن حلول تصميمية جديدة، ذلك البحث الذى اشتد بنوع خاص فى السنوات الاخيرة نتيجة لتصاعد بارامترات التحميل .
توصيل الاعمدة والمحاور. توصل الاعمدة أو غيرها من الاجزاء الدوارة فيما بينها بواسطة القوارن والقوابض . فتوصيل عمودى المحرك وماكينة التشغيل ، وأعمدة بعض المعدات العاملة فى دائرة واحدة للقدرة، وادارة الماكينات من تشغيلها وايقافها ، وتنظيم سرعاتها ، وعكس اتجاه دورانها ، ووقايتها من زيادة الحمل اكثر من اللازم ، ومن ارتدادها تلقائيا فى اتجاه الدوران ، وتقليل تأثير تسليط الحمل بصدمات أو تأثير الاهتزازات ؛ وتوصيل الاجزاء المختلفة للعمود " المكون من وصلات " عندما يستحيل تنفيذ العمود قطعة واحدة نتيجة لطوله الكبير - ان كل هذه والكثير غيرها هى من الوظائف التى تقوم بها القوارن والقوبض فى الماكينات الحديثة.
وبالنسبة للغرض الرئيسى من استخدامها تنقسم الى قوارن دائمة التوصيل (coupling) ، وقوابض فاصلة (clutch) . ويتحقق بواسطة الاولى توصيل الاعمدة توصيلا دائما لا يمكن فصله أثناء التشغيل ؛ والثانية توصيل وفصل الاعمدة أثناء التشغيل .
وقد استدعى الاستخدام الواسع للقوارن والقوابض ضرورة تقنينها توصيدها قياسيا ؛ وتوصف أبعاد وبارامترات القوارن والقوابض بالمواصفات القياسية . ويجرى اختيار القوارن والقوابض بالابعاد المطلوبة حسب جداول المواصفات الخاصة وذلك انطلاقا من عزم اللى الحسابى M_t ، الذى تدخل فى اعتباره ظروف التحميل التى تظهر أثناء تشغيل الماكينات

الوصلات من طراز « العمود – السرة »

بالاحتكاك

غير قابلة للفك

بالكبس

القابلة للفك

بواسطة الحلقات الزنبركية

باللصق

بالتيلات

بالتعشيق

القابلة للفك

بالمسامير

بالخوابير

بالاسنان

بالاشكال الخاصة

الشكل ٢٢ - ٢

$$M_t = M_{rated}k = 97.400 \frac{N}{n} k \text{ kgf} \cdot \text{cm},$$

حيث M_{rated} - عزم اللى المقدر بالكجم سم ؛
k - معامل الامان ؛
N - القدرة بالكيلووات ؛
n - سرعة الدوران لفة/دقيقة.

وقيمة معامل الامان k تتغير فى حدود واسعة (من ١ الى ٦.٠)، وتعتمد أساسا على نوع المحرك والماكينة العاملة.

أنواع كراسى المحاور . تقوم الركائز بسند المحاور والاعمدة، وبتوفير وضعها المطلوب فى الفراغ، وتلقى القوى المؤثرة، ونقلها الى اساس الماكينة . وتدخل فى عداد الركائز بالمعنى الواسع للكلمة كراسى المحاور وأجهزة جسم الماكينة.

وحسب اتجاه تلقى كراسى المحاور للاحمال تنقسم الى كراسى محاور تتلقى الاحمال القطرية العمودية على محور دوران العمود ، وكراسى محاور دفعية ، وهى تتلقى الاحمال المحورية فقط وكراسى

ركائز	الانزلاق	التدحرج	المشتركة
قطرية			
صادة			

الشكل ٢٢ - ٣

محاور قطرية دفعية ، وهى خاصة بتلقى الاحمال المشتركة القطرية والمحورية.

وتبعا لنوع الاحتكاك بين الاسطح المتحركة بالنسبة لبعضها البعض تنقسم كراسى المحاور الى كراسى محاور انزلاق وكراسى محاور تدحرج . والشكل ٢٢ - ٣ يبين أشكال الركائز من مختلف الانواع.

وفى كراسى محاور الانزلاق تنفصل العناصر المحتكة ببعضها البعض بواسطة طبقة من السائل ، يستبدل بفضلها الاحتكاك بين الاجسام الصلبة باحتكاك فى سائل .

وتنقسم كراسى المحاور تبعا لوسيلة توفير الاحتكاك المائع الى كراسى محاور هيدرودينامكية وأخرى هيدروستاتيكية. وفى كراسى المحاور من الطراز الاول يتكون الضغط الهيدرودينامكى فى طبقة السائل الفاصل بين السطحين المحتكين ، عند تحركهما نسبيا فقط. أما التزييت فى كراسى المحاور الهيدروستاتيكية، فيفصل بين سطح العمود وسطح كرسي المحاور بغض النظر عما اذا كانا موجودين فى حالة سكون أم حركة ، حيث أن التزييت يوصل تحت ضغط من مصدر ثابت (مضخة).

ومن أهم مواصفات كراسى المحاور، الفاقد فى الاحتكاك والذى يعتمد على معامل الاحتكاك.

ومعامل الاحتكاك فى كراسى محاور الانزلاق (f) يتغير فى حدود واسعة، تبعا لبارامترات نظام عمل الركائز (الحمل ، السرعة، لزوجة الزيت) - من ١ر٠ حتى ٠٠٠٥ر٠ . وفى اثناء بدء التشغيل ، عندما يحتمل وجود احتكاك شبه جاف بين مقعدة العمود وبين كرسى محوره تكون $f \approx$ ١ر٠ ، أما فى حالة وجود نظام الاحتكاك الحدى تكون $f =$ ٠١ر٠ ÷ ٠٦ر٠ . أما فى حالة وجود طبقة زيت تفصل بين السطحين الصلبين فى الركائز الهيدرودينامكية والهيدروستاتيكية تكون $f =$ ٠٠١ر٠ الى ٠٠٠٥ر٠ .

ويمكن تقييم الفقد فى الاحتكاك فى كراسى محاور التدحرج بواسطة معامل الاحتكاك المكافىء (يعود المعامل الى قطر العمود الذى يركب عليه كرسى المحور).

وبالنسبة لكراسى المحاور بالكريات (ball bearings) ، تكون قيمة $f_{red} \approx$ ٠٠١ر٠ الى ٠٠٢٥ر٠ ، أما بالنسبة لكراسى المحاور بالاسطوانات فان $f_{red} =$ ٠٠٢٥ر٠ الى ٠٠١٥ر٠ .

والفقد فى كراسى محاور التدحرج أقل حوالى عشر مرات من الفقد فى كراسى محاور الانزلاق التى تعمل وفق نظام التزييت الحدى .

واختيار نوع وأبعاد الركائز مشروط قبل كل شىء بمقدار الحمل المسلط على العمود وكذلك طابع هذا الحمل (استاتيكى ، أو ديناميكى) وتبعا لتغير الحمل بتغير السرعة. وتتلقى كراسى محاور التدحرج بشكل جيد الاحمال الاستاتيكية الكبرى مع سرعة صغيرة نسبيا ؛ كما أنها تتحمل أحمالا زائدة عن الحد لمدة قصيرة وكذلك بدء التشغيل بالحمل الكامل . ويقل عمر تشغيل كراسى محاور التدحرج بشدة عند تعرضها للتحميل بالصدمات، كما يزيد بذلك الضجيج الناتج عنها بسبب مقدرتها الضئيلة على اخماد الصدمات. وفى ظروف أحمال الصدمات والسرعة الكبيرة، تعمل كراسى محاور الانزلاق بشكل أفضل سواء اكانت هيدرودينامكية أو هيدروستاتيكية ؛ والاخيرة تتيح الفرصة لبدء التشغيل مع وجود

الحمل كاملا . وكراسى المحاور الهيدرودناميكية والهيدروستاتيكية تتمتع بعمر تشغيل أطول من عمر تشغيل كراسى محاور التدحرج . وكراسى محاور الانزلاق ذات الاحتكاك الحدى تعمل جيدا بالسرعات المنخفضة ، أما اذا رفعت السرعة تهبط معها بشدة قدرتها على الحمل .

ولتلافى التآكل بالاحتكاك فى فترة بدء التشغيل ، عندما يحتمل نتيجة لوجود السرعة المنخفضة احتكاك بين الاسطح الصلبة، تستعمل كراسى محاور مجمعة تعمل بالاحتكاك المائع، تجمع فى ذاتها بين الطريقتين الهيدرودناميكية والهيدروستاتيكية فى الحصول على الضغط فى طبقة التزييت. والطريقة الاخيرة تتيح الفرصة أمام وجود الاحتكاك بالسائل حتى أثناء السكون النسبى بين الاسطح المحتكة.

وتخدم هذا الغرض أيضا الركائز المختلطة التى تكون على صورة الجمع بين كراسى محاور الانزلاق والتدحرج ؛ وفى هذه الحالة تضمن الاخيرة بدء التشغيل من حالة السكون ، والحركة بالسرعة الصغيرة، عندما يكون الحصول على الاحتكاك بالسائل بالطريقة الهيدرودناميكية مستحيلا .

وعند مقارنة تكاليف كراسى المحاور من مختلف الانواع يجب الاخذ بعين الاعتبار للآتى :

١ - تكلفة التصميم تعتبر بحدها الادنى بالنسبة لكراسى محاور التدحرج العاملة تحت الظروف الاعتيادية، حيث أنه يتلخص فى اختيار كرسى المحور اللازم من الكتالوج . أما تكاليف تصميم كراسى محاور التدحرج العاملة فى ظروف خاصة، وكذلك كراسى المحاور الهيدرودناميكية فهى أعلى بكثير ، حيث أنه فى كلتا الحالتين يمكن أن يقتضى الامر اجراء اختيار عملى للتركيبات الموضوعة.

كما أن تكلفة تصميم كراسى المحاور الهيدروستاتيكية مرتفعة أيضا نتيجة لتعقيد منظومة التزييت .

٢ - عند تساوى الدقة ، تكون تكلفة تصنيع كراسى محاور الانزلاق فى العادة أقل من كراسى محاور التدحرج .

٣ - تتحدد تكاليف التشغيل بطراز جهاز التزييت وهى فى العادة أقل بالنسبة لكراسى محاور التدحرج من مصروفات كراسى محاور الانزلاق .

والجدول ٢٢ - ١ يبين التقييم المقارن لبعض خصائص كراسى محاور الانزلاق والتدحرج .

وفى حالة الاحتكاك المائع لا يقيد عمر خدمة كراسى محاور الانزلاق ، على حين أن عمر خدمة كراسى التدحرج يقل مع زيادة الحمل والسرعة. ولقد وضحت التجارب المقارنة بين كراسى محاور الانزلاق والتدحرج ، أنه ابتداء من السرعات الصغيرة

الجدول ٢٢ -١

تقييم مقارن لبعض خصائص كراسى محاور الانزلاق والتدحرج

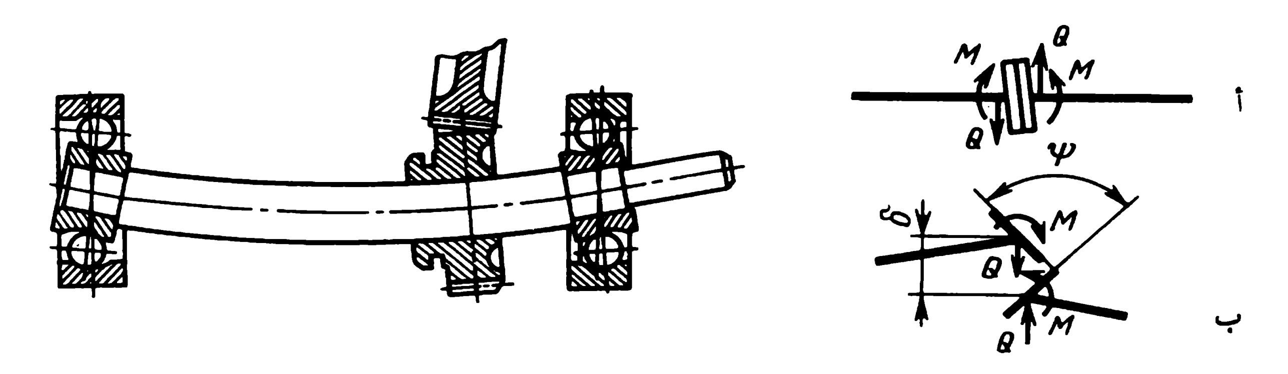
عامل المقارنة	كرسى محور الانزلاق	كرسى محور التدحرج
تلقى الاحمال :		
الثابتة	جيد جيد	جيد
المتغيرة	جيد	جيد
أحمال الصدمات	جيد	ردىء
الاحتكاك عند بدء التشغيل	كبير	صغير
الابعاد :		
القطرية	صغيرة	كبيرة
المحورية	($\frac{1}{٤}$ - ٢) من قطر المقعدة	($\frac{1}{٥}$ - $\frac{1}{٢}$) من قطر المقعدة
اخماد الاهتزازات	جيد	ردىء
الضجيج	بدون ضجيج	بضجيج فى العادة ؛ مستوى الضجيج يتحدد بنوعية التصنيع، وسرعة الدوران ، ورنين الجسم
بدء التشغيل عند درجات الحرارة المنخفضة	صعب	سهل
التشغيل عند درجات الحرارة العالية	مقيد بالتزييت	مقيد بالتزييت
عمر الخدمة	كبيرا جدا فيما عدا بعض الركائز ذات الاحمال المتغيرة	مقيد بمتانة الكلال لعناصر الكرسى
التكلفة	صغيرة جدا فى حالة الانتاج بالجملة	معتدلة ولكنهما تتغير قليلا تبعا لحجم الانتاج
سهولة الاستبدال	تعتمد على تركيب الوحدة. وعادة تتطلب تجليخ أو تنظيف مقعدة العمود	تعتمد على تركيب الوحدة. وفى العادة لا تتطلب اصلاح مقعدة العمود

للانزلاق (فى حدود متر واحد / ثانية) فان كرسى محور الانزلاق، يتمتع حتى مع نظام التزييت الحدى، بمقدرة تحميل اكبر من حالة كرسى محور التدحرج ذى نفس الابعاد .

وعلى ما يبدو فان كرسى محور التدحرج يتمتع دائما بعمر خدمة أقل من عمر خدمة كرسى محور الانزلاق، العامل بالاحتكاك بالسائل وبعدد مرات أقل لبدء التشغيل . وفى الركائز المختلطة، يعمل كرسى محور الانزلاق دائما بالاحتكاك بالسائل بسبب توفر أقل خلوص كاف للفصل بين السطحين الصلبين بطبقة سميكة من زيت التزييت.

وعمر خدمة كرسى محور الانزلاق فى الركيزة المجمعة غير محدود ، أما بالنسبة لكرسى محور التدحرج فيتحدد عمر الخدمة بنظام عمله فى فترات بدء التشغيل وفترات الايقاف. وكرسى محور الانزلاق فى الركيزة المجمعة يتلقى حملا ويعفى منه كرسى محور التدحرج، ويزيد هذا الحمل كلما زادت سرعة الدوران .

وعند تصميم أجزاء المجموعة موضع البحث، يجب الاخذ بعين الاعتبار دخولها فى عداد أجزاء الماكينات المتبادلة، وبناء على ذلك فانه عند



الشكل ٢٢ - ٤   الشكل ٢٢ - ٥

اختيار الاشكال الحسابية يجب اعتبار خصائص التحميل التى تتحدد بشروط عملها المتبادل .

والشكل ٢٢ - ٤ ، أ يوضح عمودين متصلين بقارنة شفهية ؛ ونتيجة للخطأ فى التنفيذ والتجميع كان للشفتين قبل التوصيل (الشكل ٢٢-٤ ، ب) انحراف بين مركزيهما مساويا δ ، والزاوية بين السطحين العاملين للشفتين مساوية ψ . ولتوصيل الشفتين يلزم تسليط قوة ما Q على كل منهما وعزم M . والاجهادات الاضافية الناتجة من عوامل القوى هذه والتى تظهر فى مقاطع العمودين ستكون أيضا اجهادات متغيرة. ومقدارها الاقصى يعتمد على الانحرافين δ ، ψ ، وعلى أبعاد العمود وموضع الركائز على طول العمود .

والشكل ٢٢ - ٥ يوضح (رمزيا) الوضع التبادلى لكرسيى محاور التدحرج والعجلتين المسننتين فى حالة عدم كفاية جساءة العمود . والانحرافات الكبيرة تؤدى الى توزيع غير منتظم فى الحمل على خطوط تماس العجلتين ، وبين عناصر كرسيى المحور، وفى أسطح الاقتران فى وصلة العمود ـ السرّة، مما يقلل من عمر خدمتها .

الباب الثالث والعشرون

الاعمدة والمحاور . وصلة العمود – السرة

تصميم المحاور والاعمدة

الأعمدة والمحاور المستقيمة. تتحدد الاشكال التصميمية للاعمدة والمحاور من واقع الفرض من هذه الأجزاء، طابع ومقدار الحمل المسلط عليها، ووسيلة تثبيت الأجزاء المركبة عليها، ظروف تجميع الوحدة وتكنولوجيا تصنيعها ... الخ.

والشكل التصميمي يضفى على العمود بواسطة الخراطة وما يتبعها من عمليات تجليخ قطاعات التوافق؛ أما الأعمدة المحملة بشدة فتجلخ كل أسطحها.

والمحاور والاعمدة تصمم وتصنع فى العادة بصورة قضبان اسطوانية ذات شكل مدرج (عدة قطاعات باقطار مختلفة)، او بصورة قضبان ذات قطر ثابت، وهذا من الامور النادرة. ومن وجهة النظر التكنولوجية، تعتبر أبسط الأعمدة والمحاور هى تلك ذات القطر الثابت. الا أن هذا الشكل لا يتفق وطابع الاجهادات فى هذه الاجزاء، اذ أن الاجهادات متغيرة على طولها؛ كما انها غير مناسبة أيضا بسبب انها تجعل عمليات تجميع وفك الوحدة اكثر تعقيدا ،كما وانها تزيد من صعوبة تثبيت الاجزاء المركبة على المحاور والاعمدة، وأخيرا بالنسبة للركائز.

وأقطار مقاعد الاعمدة، وأماكن توافق (تركيب) العجلات المسننة، والاقراص والكبرات وغيرها من الاجزاء يجب أن تختار حسب المواصفات القياسية الخاصة بالابعاد الطولية العادية المستخدمة فى بناء الماكينات.

وعندما يكون هناك عدد كبير من الدرجات على العمود، يمكن أن يصبح التقيد بمقاييس الاقطار وحدها، امرا فى غاية الصعوبة. لذلك يسمح باختيار الاقطار بالنسبة للقطاعات غير الحاملة للاجزاء دون التقيد التام بالمواصفات القياسية.

وعند تحديد شكل العمود المدرج، يجب اختيار اقطار الدرجات بحيث أن يتمكن كل من الاجزاء المتوافقة من المرور من خلال العمود حتى الوصول الى مكان التثبيت بدون ضغط. والنظام المستخدم فى الغالب فى بناء الماكينات والخاص بالثقوب، يتيح الفرصة أمام تنفيذ مختلف أنواع التوافقات عن طريق تجليخ قطاعات معينة من العمود ذى القطر المقدر، حتى تصل أقطار تلك القطاعات الى مقادير تتمشى والتوافقات المعنية.

وطول كل قطاع حامل فى العمود المدرج يعتمد على طول سرّة

الجزء المراد تركيبه؛ ومن المفضل ان يكون طول السرة اكبر بعض الشيء من طول قطاع التوافق في العمود (أنظر الشكل ٢٣ - ٨، جـ على سبيل المثال) وذلك لتخفيف الحمل عن الطبقات السطحية للعمود من جراء ضغوط التلامس الكبيرة.

والاعمدة والمحاور يمكن أن تكون اما مصمتة أو جوفاء. وفي السنوات الاخيرة اصبحت الاعمدة والمحاور الجوفاء تستخدم بتوسع اكثر فاكثر. ويفسر هذا قبل كل شيء بالتخفيف الملموس في وزن الجزء، وبالحساسية الاقل تجاه تركيز الاجهادات. فمثلا عندما تتساوى عمليا متانة عمود مصمت قطره d ، وعمود أجوف مساو للاول في قطره الخارجي، وقطره الداخلي d_1 ، عندما تكون $\beta = \frac{d_1}{d} = 0.5$ يكون وزن الاخير أقل بنسبة ٢٥ ٪ من وزن العمود المصمت. واذا كانت الماكينة موضع التصميم ذات أبعاد صغيرة، يمكن تركيب أجزاء أخرى مثل الاعمدة وشدادات الادارة وغيرها في الفراغ المتكون في وسط العمود.

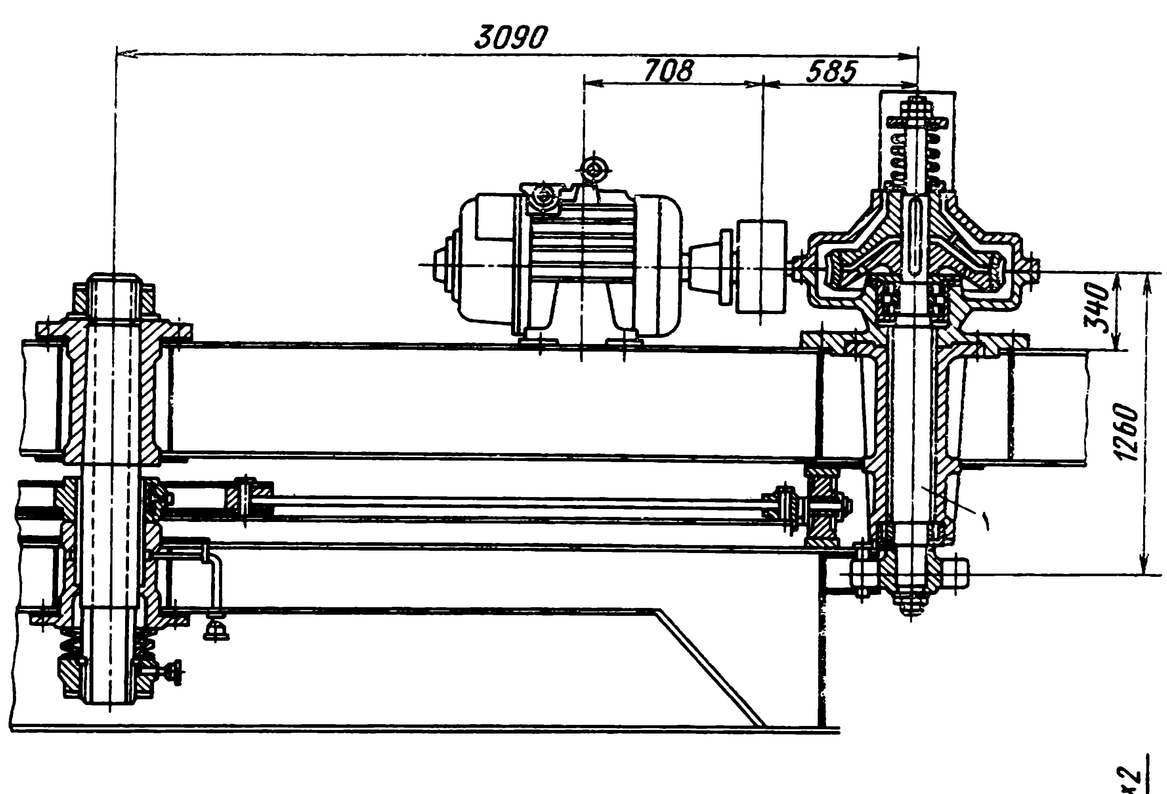
ومع ذلك فيجب عند اختيار التصميم الاخذ في الاعتبار احتمال كون الاعمدة المفرغة والمحاور اكثر تكلفة.

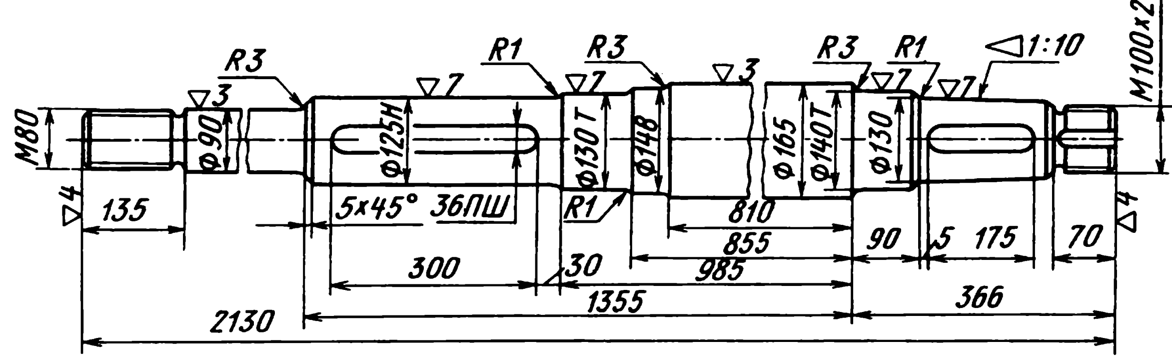
والشكل ٢٣ - ١ يوضح وحدة وعمود ١ آلية تدوير مرفاع موانى بوزن ١٠ أطنان؛ وتحدد شكل العمود مع اعتبار الاجهادات المؤثرة التي تطرح متطلباتها على الاجزاء المركبة على العمود وتصميم الوصلات وغيرها.

وموضع توافق قطاعين من المحور أو العمود بأقطار مختلفة يسمى المنحنى. وبغية تقليل تركيز الاجهادات في هذه المنطقة، يستحسن أن ترسم المنحنيات (fillets) بأقواس أقطارها اكبر ما يمكن ($r > 0.1\,d$) (الشكل ٢٣ - ٢، أ)، أو أن يضفى على المنحنيات شكل خاص. وعلى سبيل المثال، فان تشكيل المنحنيات على شكل قطع ناقص (الشكل ٢٣ - ٢، ب) يضمن رفع اطاقة الاجزاء بنسبة ١٠ - ٢٠ ٪ . ومثل ذلك التأثير توجده المنحنيات ذات التجويف التحتي (الشكل ٢٣- ٢، د). من نصف قطر واحد، او من نصفي قطرين أو ثلاثة مختلفة (أي أن المنحنيات نرسم في قطاعات مختلفة منها بانصاف اقطار مختلفة؛ علما بأن اكبر نصف يرسم في مكان تجاور المنحنى مع قطاع العمود ذي القطر الاصغر d).

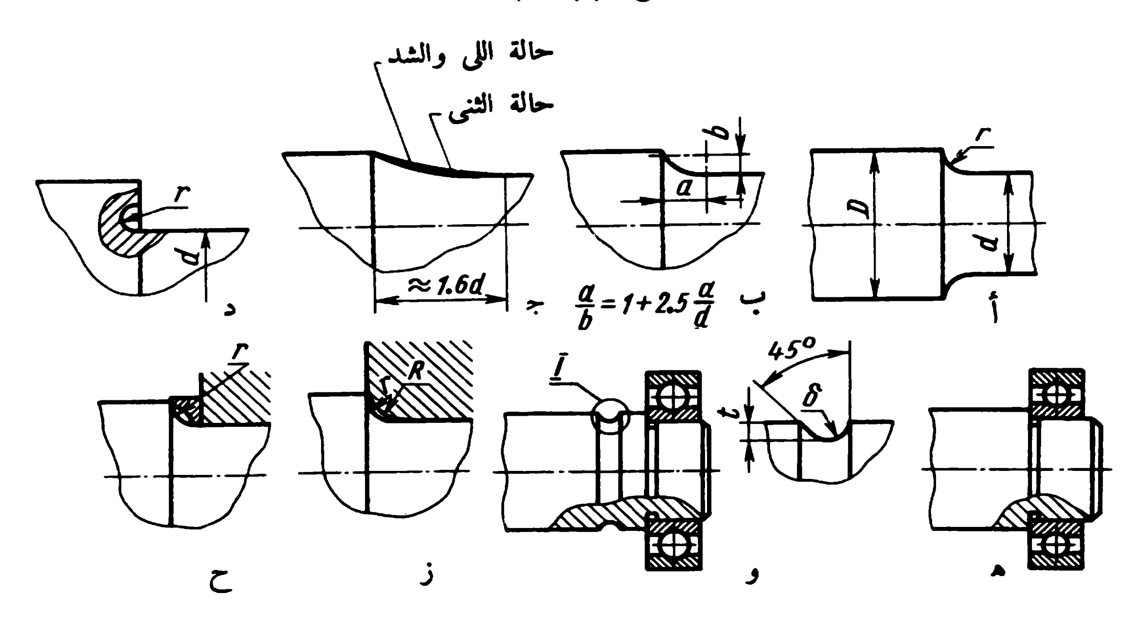
وأفضل الحلول الذي يضمن قيمة معامل تركيز الاجهادات $k_\sigma(k_\tau) \approx 1$ ، يعتبر استخدام ما تسمى باشكال المنحنيات المخففة للحمل أو المشتتة له (الشكل ٢٣ - ٢، جـ)، الا أنه محدد بطول القطاع الانتقالي ($\approx 1.6d$)، الذي يستحيل عنده تركيب الجزء المراد تركيبه.

والقنوات التي يجرى شقها في العادة لخروج عجلات التجليخ (الشكل ٢٣ - ٢، هـ)، تخفض كثيرا متانة الاعمدة من جراء ما تجلبه





الشكل ٢٣ - ١



الشكل ٢٣ - ٢

من تركيز كبير في الاجهادات ؛ ويسمح باستخدامها فقط في القطاعات قليلة التحميل في الاعمدة (مثلا في أعمدة غالبية ماكينات تشغيل المعادن).

ويمكن ذكر نفس الشيء بالنسبة للقنوات المخصصة لتثبيت الحلقات الزنبركية فيها ، والمستخدمة للتثبيت المحوري للاجزاء المركبة على الاعمدة.

والحواف او النتوءات الموجودة على الاعمدة كثيرا ما تصنع لنفس الغرض، اى لتثبيت الوضع المحوري للاجزاء للركبة على العمود ، أو لتثبيت موضع العمود بالنسبة للركائز. وبجانب هذا فان معامل تركيز الاجهادات يعتمد لا على النسبة $\frac{r}{d}$ وحدها ، بل على النسبة $\frac{D}{d}$ أيضا. وعند الانخفاض الحاد في الاقطار، وكذلك في حالات المنحنيات التي تؤدى الى نشوء تركيز كبير في الاجهادات، يمكن ان التوصل الى تخفيض قيمة المعامل k_σ عن طريق قنوات تفريغ الحمل (مشتتات الاجهادات) (الشكل ٣٢ - ٢ ، و) . وفي بعض الاحيان يكون من الاسهل تثبيت الاجزاء بمساعدة الجلب البعدية (الشكل ٢١ - ٦) وغيرها من الاساليب المماثلة، التي تنتفى بها الحاجة الى احداث الجواف والنتوءات .

وانطلاقا من متطلبات التركيب، يجب أن يكون نصف قطر منحنى r أقل بعض الشيء من القطر R ، الذي يحدد به موضع الجزء المراد تركيبه (الشكل ٢٣ - ٢ ، ز). واذا اتضح أن نصف قطر المنحنى سيكون صغيرا بناء على ذلك، مما قد يؤدى الى زيادة المعامل k_σ ، يجب استخدام حلقات انتقالية بين الكتف وبين الجزء، (الشكل ٢٣ - ٢ ، حـ)، تلك الحلقات التي تتيح للفرصة أمام زيادة نصف القطر r حتى القيمة المطلوبة حسب شروط المتانة. والمنحنيات ذات التجاويف التحتية (الشكل ٢٣ - ٢ ، د) تتمتع من وجهة النظر هذه ببعض المميزات، حيث أنها تجعل بالامكان الاستفادة من كل طول سطح التوافق في العمود .

ويمكن أن تسمى بعض قطاعات العمود (المحور) ، تبعا لوظيفتها بقطاعات الارتكاز، قطاعات الحمل ، والقطاعات الانتقالية.

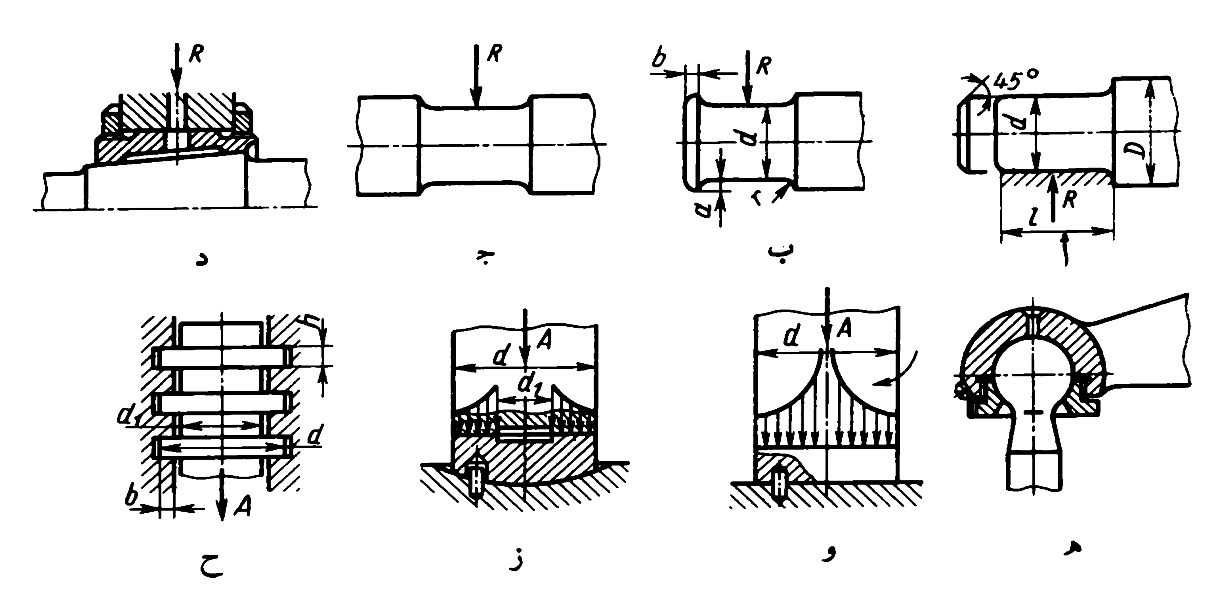
وقطاعات الارتكاز للمحاور والاعمدة تسمى بالمقعدات . والشكل (٢٣ - ٣ ، أ - ح) يبين تصاميم بعض المقعدات والأعمدة الاكثر انتشارا .

والمقعدات التي تتلقى ردود فعل الارتكاز في الاتجاه القطرى تسمى بالمرتكزات اذا كانت طرفية او بالاعناق اذا كانت وسطية.

والاشكال التصميمية للمقعدات تعتمد على اتجاه وقيمة ردود فعل الارتكاز ، متطلبات التثبيت المطروحة على الوحدة ، تنظيم الخلوصات، تعويض التآكل بالاحتكاك وغير ذلك ، وكذلك على تكنولوجيا التصنيع.

ويجب أن يكون تركيب المقعدة متمشيا مع تركيب الركيزة.

والكتف المتكون عند تشكيل المرتكز الاسطوانى (الشكل ٢٣ - ٣، أ) يستخدم لتثبيت العمود (المحور) فى الاتجاه المحورى. وعند وجود مثل هذا الكتف عند الطرف الآخر من العمود او المحور تتحدد حرية الازاحة المحورية لهذا الجزء فى الاتجاه المضاد أيضا. وفى بعض الحالات لا يسمح باستخدام مثل هذه الطريقة فى التثبيت، حيث أنها تعيق التمدد الحر للعمود أو المحور عند التغير الشديد



الشكل ٢٣ - ٣

فى درجة الحرارة. لذلك يصبح من الممكن فقط التثبيت من جهة واحدة للجزء (الشكل ٢٣- ٣، ى). ومثل هذه الطريقة فى تركيب العمود (المحور) لها أيضا ميزتها الايجابية، فهى لا تتطلب دقة عالية فى تحديد المسافة بين الركيزتين والطول النسبى للمقعدة $\varphi = \frac{r}{d}$ (الشكل ٢٣ - ٣، أ) يتراوح فى حالة كراسى محاور الانزلاق فى حدود $\varphi = 0.3 \div 2.0$ ، تبعا لتصميم الركيزة.

درجات نقاوة سطح المقعدة المنصوص عليها هى كالاتى من $\nabla 6$ الى $\nabla 9$ فى حالة كراسى محاور التدحرج، تبعا لدرجة دقة كرسى المحور وقطره؛ ومن $\nabla 7$ الى $\nabla 9$ فى حالة كراسى محاور الانزلاق، وذلك تبعا لظروف العمل.

<u>المقعدات المخروطية</u> (الشكل ٢٣ - ٣، د)، وتستخدم فى الحالات التى يتطلب فيها اثناء الاستخدام، تنظيم الخلوص القطرى. وتتم عملية التنظيم بواسطة الازاحة المحورية للعمود أو للركيزة.

<u>المقعدات الكروية</u> (الشكل ٢٣ - ٣، هـ) وتستخدم فى الحالات التى يتطلب الامر فيها او قد يكون من الضرورى عند الاستخدام اجراء ازاحة زاوية لمحور المقعدة فى الفراغ. وبسبب صعوبة تصنيع اسطح الارتكاز المرتكز بدقة وكذلك تصنيع جلبة كرسى المحور، فان من النادر استخدام مثل هذه المقعدات.

وسطح تشغيل الكعب المصمت (الشكل ٢٣ - ٣، و) هو الحافة المستوية للجزء . وكما برهنت على ذلك الدراسات التحليلية، فان الضغوط النوعية على الحافة تتوزع بصورة غير منتظمة. والكعب الحلقى (الشكل ٢٣ - ٣، ز) يضمن قانونا افضل لتوزيع الضغوط .

وفى الحالات التى يكون فيها الضغط النوعى الحسابى المسلط على سطح ارتكاز الكعب الحلقى قد تجاوز الحدود المسموح بها ، تستخدم أحيانا الكعوب المشطية (المسننة) (الشكل ٢٣ - ٣، ح)التى تعتبر تحسينا تصميميا للكعوب الحلقية. وفيها يتوزع الحمل بين عدة كعوب حلقية متوازية (بالرغم من أن التوزيع غير منتظم) . والعيوب الاساسية لهذا التصميم هى : الفقد الكبير نسبيا فى الاحتكاك ، الصعوبات التكنولوجية وصعوبات التركيب الناتجة عن السعى لتوفير اشتراك كل الامشاط (الاسنان) فى تلقى الحمل .

والاشكال التصميمية للقطاعات الحاملة من الاعمدة والمحاور تتحدد بوسيلة تثبيت الاجزاء . ويعتمد اختيار تصميم الوصلة على مقدار واتجاه الحمل والمتطلبات التكنولوجية ومتطلبات التركيب وغيرها من المتطلبات التى يجب ان تستجيب لها الوحدة.

وسنتناول فيما بعد دراسة تصاميم الوصلات التى حصلت على اكبر انتشار فى بناء الماكينات.

اعمدة المرفق . يبين الشكل ٢٣ - ٤، أ أحد أعمدة المرفق . والعناصر الاساسية لهذا العمود هى : الاعناق الاساسية وهى قطاعات الارتكاز وتأخذ موضعها فى كراسى المحاور الموجودة بدورها فى جسم (قاعدة) الماكينة ؛ أعناق اذرع التوصيل التى تعمل على ربط قطاعات العمود مع أذرع التوصيل ؛ والسواعد التى تكون المرافق ، وهو العناصر التى تعمل على توصيل الاعناق فى تركيبة العمود الموحدة سواء اكانت قطعة واحدة أم كانت مركبة من أجزاء .

والاعناق اما أن تكون مصمتة (الشكل ٢٣ - ٤، ب) ، او مجوفة (الشكل ٢٣ - ٤، جـ) ؛ وتجاويفها اما أن تكون اسطوانية (الشكل ٢٣ - ٥، أ) أم برميلية الشكل (الشكل ٢٣ - ٥، ب) .. الخ .

ومرافق العمود اما أن توجد من مستوى واحد أو ان تنحرف عن بعضها البعض بزوايا تبعا لتوسيع الاسطوانات . اما السواعد فيمكن أن تتخذ وضعا زاوية قائمة مع محور العمود (الشكل ٢٣-٤، ب ، جـ) او بزاوية أخرى (الشكل ٢٣ - ٤، د) ؛ وفى حالة ما اذا كانت السواعد مائلة، يتم التوصل الى توزيع أفضل لانسياب خطوط القوى. وامكانية استخدام أعمدة ذات سواعد مائلة تحددها المسافة بين الاسطوانتين المتتاليتين .

وحسب الشكل ، يمكن أن تكون السواعد اما مستطيلة أم مستديرة أو على شكل قطع ناقص. وفى الحالات الهامة تعطى للسواعد اشكالا خاصة بهدف زيادة تحمل أعمدة المرفق .

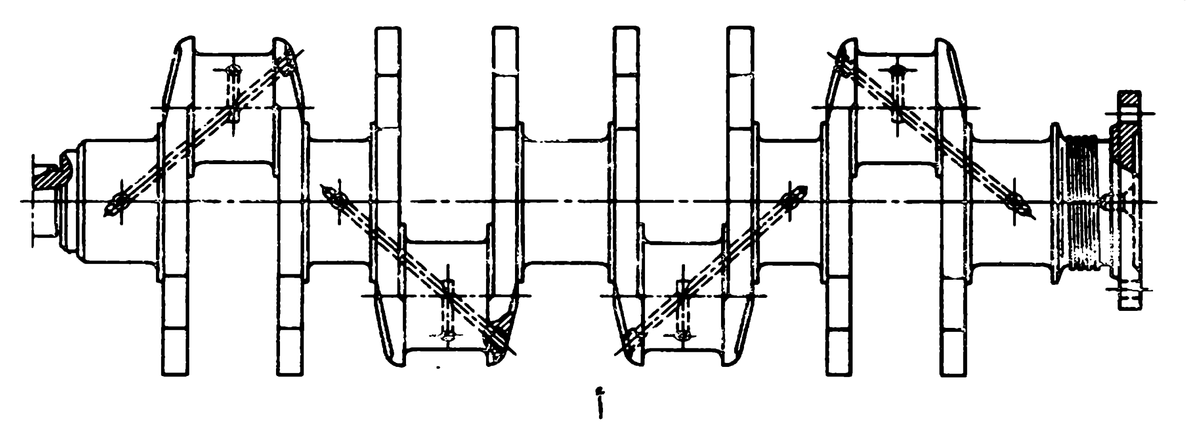
ويفهم من تداخل الاعناق (الشكل ٢٣ - ٤ ، هـ - ز) المقدار

$$\varepsilon = 0.5(d_{mj} + d_{cr}) - R,$$

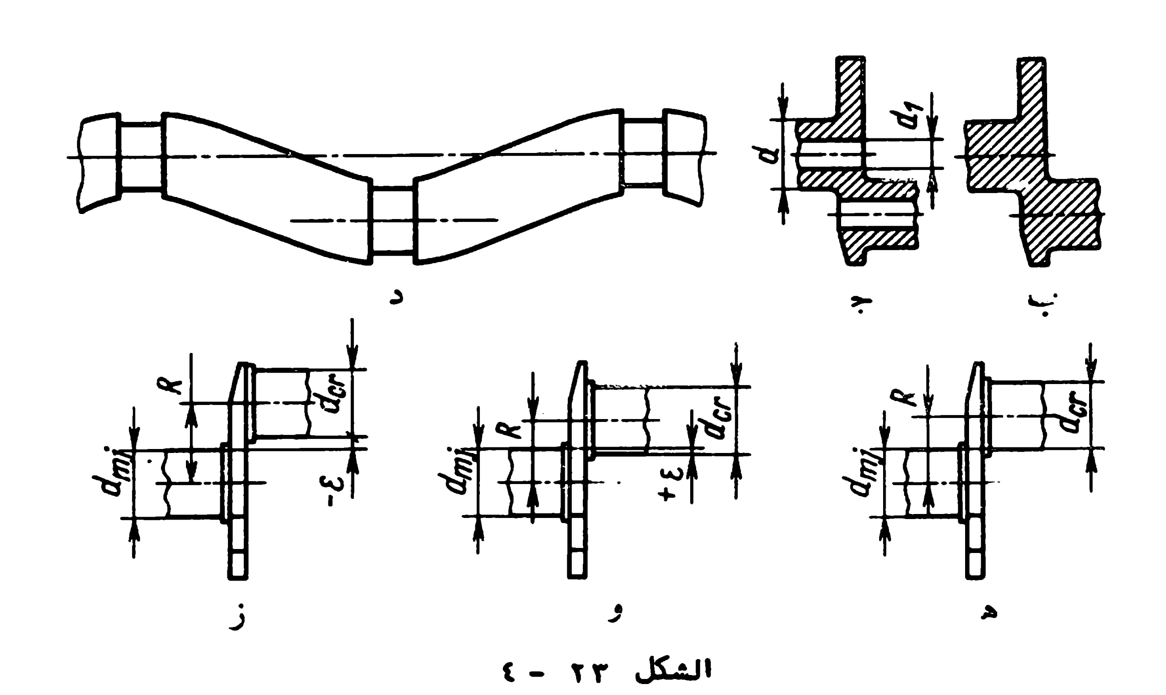
حيث R - نصف قطر المرفق ؛
d_{mj} ، d_{cr} - قطرا العنق الاصلى وعنق ذراع التوصيل .
ومعامل التداخل هو النسبة

$$\frac{R}{R + \varepsilon}$$

وتبعا لقيمة هذا المعامل ينقسم التداخل الى تداخل صفرى [(الشكل ٢٣ - ٤ - هـ) $\varepsilon = 0$] وتداخل موجب [(الشكل ٢٣-٤ ،



أ

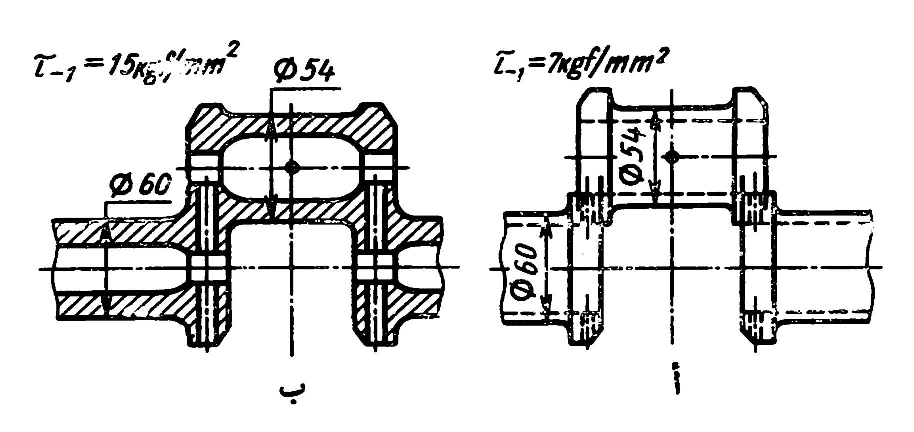


الشكل ٢٣ - ٤

و) حيث $\varepsilon > 0$] ، وتداخل سالب [(الشكل ٢٣-٤ ،ز) حيث $\varepsilon < 0$] .
ومن خلال التجارب أهمية التداخل وتأثيره : فعندما تكون $\frac{R}{R + \varepsilon}$ مساوية لـ ٩٥ر٠ او ١ر٠ أو ٠٥ر١ تصبح حدود الاطاقة للاعمدة

١٢٥ ٪، ١٠٠ ٪، ٧٥ ٪ على التوالى.

وكما هو الحال فى الاعمدة المستقيمة، فان مواضع الانتقال بالمنحنيات فى أعمدة المرفق تعتبر مناطق تركيز كبير فى الاجهادات تصل لحدها الاقصى فى القطاع الملاحق للقطاع الانتقالى وفى السطح الاسطوانى من العنق. وبفرض تخفيض معاملات تركيز الاجهادات، يوصى باختيار $r \geqslant (0.06 \div 0.08)\ d$ فى حالة المنحنيات الدائرية ذات التقوس الثابت، حيث d - هى قطر العنق.



الشكل ٢٣ - ٥

وينخفض تركيز الاجهادات انخفاضا ملموسا فى حالة المنحنيات ذات التقوس المتغير، اى المنحنيات ذات نصفى القطرين، أو التى تكون على شكل قطع ناقص أو قطع زائد. وبهدف تحسين استخدام طول العنق تصنع مناطق الانتقال المنحنية بتجويف تحتى فى الساعد، وأحيانا فى العنق.

وتعتبر مسألة توزيع ثقوب ادخال زيت التزييت مسألة هامة عند تصميم أعمدة المرافق.

وتدخل أعمدة المرفق فى عداد الأجزاء الخاصة. ومسألة تصميمها تبحث بالتفصيل من مراجع خاصة.

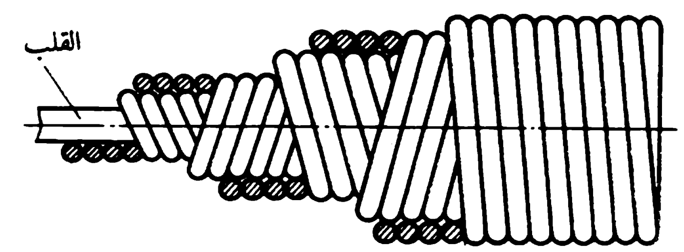
والشكل ٢٣ - ٥، ب يوضح تطويرا فى تصميم المرفق (الشكل ٢٣ - ٥، أ) يضمن مع ثبات الابعاد الخارجية رفع قوة احتماله بمقدار يزيد عن الضعف.

<u>الاعمدة السلكية المرنة</u>. وهى تستخدم لنقل الحركة بين الاجزاء التى تقع محاور دورانها فى وضع يستحيل عنده اجراء الربط الجاسئ بينها، او تستخدم فى الحالات التى تتغير فيها المواضع النسبية بين هذه المحاور أثناء عملية التشغيل. كما انها تستخدم أحيانا لنقل الحركة بين الاعمدة المتحدة المحور.

ويستخدم نقل الحركة بالعمود المرن من ادارة هزازات الخرسانة، المطارق الكهربية واجهزة التحكم والادارة عن بعد، ولتجهيزات تنظيف هياكل السفن .. الخ. كما أن الاعمدة المرنة حصلت على انتشار واسع بنوع خاص بصفتها عناصر للادارة فى مختلف

انواع العدد الكهربية التى تتيح الفرصة أمام ميكنة الكثير من الاعمال التى تتطلب بذل جهود كبيرة.

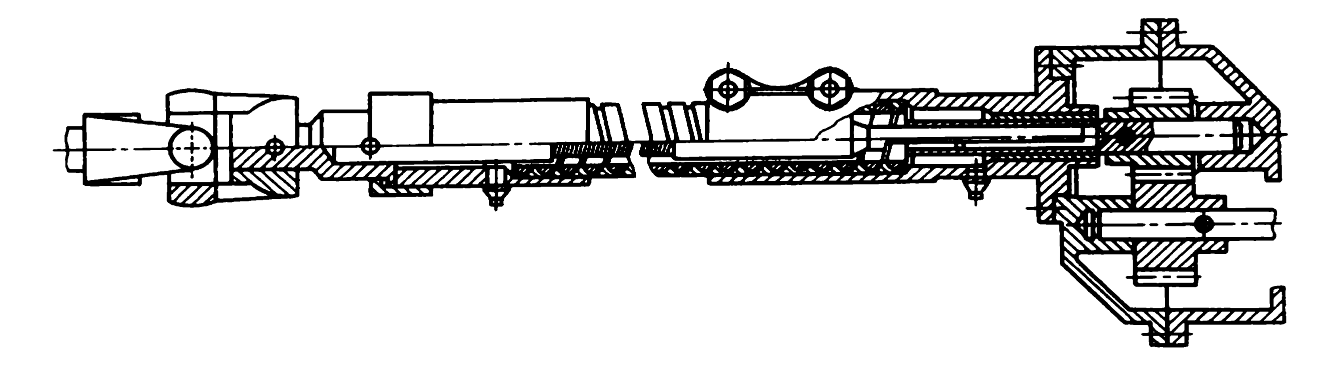
والعمود المرن (الشكل ٢٣ - ٦) يتكون من عدة طبقات متتالية من أسلاك الصلب الكربونى أو البرونز الملفوفة على بعضها. والطبقة الاولى عند المركز تلف على سلك مركزى - يسمى العكب، ويمكن أن ينتزع من العمود بعد لفه أو أن يبقى بداخله.



الشكل ٢٣ - ٦

ومن ناحية تركيبه، فان العمود المرن يشبه باى لى لولبى متعدد الابواب ومتعدد الطبقات، يتكون من حلقات ملتصقة تماما ببعضها البعض فى عدة طبقات. وهذه الطبقات متعاكسة فى اتجاه اللف. واتجاه دوران العمود يجب أن يكون بشكل يزيد عنده اللى فى الطبقة الخارجية منه عند نقل عزم اللى. وفى المعتاد يزيد سمك السلك كلما ابتعدت طبقة عن المركز فى اتجاه الطبقة الخارجية وهو يتراوح فى الاعمدة المنتجة بالجملة بين ٣ر. و ٣ مم؛ أما عدد الاسلاك فى الطبقة فيتراوح بين ٤ و ١٢ سلكا، أما الحد الأقصى لعدد الطبقات فيساوى ٨ .

وهناك ثلاثة انواع عن وسائل نقل الحركة بالعمود المرن: وسيلة نقل القدرة، وسيلة الادارة، وسيلة ادارة اجهزة التحكم. وفى كل



الشكل ٢٣ - ٧

هذه الحالات تتكون وسيلة نقل الحركة من العناصر الاساسية التالية: عمود مرن، اطراف العمود، الفلاف وتوابعه.

والشكل ٢٣ - ٧ يبين تركيب وسيلة نقل القدرة بواسطة عمود مرن.

وأهم المتطلبات التى تطرح على الاعمدة المرنة لوسائل نقل القدرة تعتبر الصمود للتأكل بالاحتكاك والمرونة.

وفى أعمدة وسائل الادارة والتحكم يكون لجساءة اللى علاوة على

المرونة أهمية حاسمة. ويتم التوصل الى مرونة عالية بواسطة تصنيع الاعمدة من عدد كبير من طبقات اسلاك رفيعة.

أما الغلاف الواقى فيكون بمثابة كرسى محور مرن من نوع خاص، يتلقى القوى التى تنتقل الى العمود. وعلاوة على ذلك فان الغلاف هذا يحافظ على زيت التزييت فوق سطح العمود، ويحافظ على العمود من التلوث والاتساخ ويحمى الشخص العامل من الاخطار الناجمة عن تشبث ملابسه بالعمود، كما وانه ينفى امكانية اصابة الاخير بالاعطاب ومن تكون عقد عليه أثناء العمل. ويوصل العمود المرن بعمود المحرك وبعمود الماكينة العاملة بواسطة طرفين (كعبين).

وتستخدم توابع الغلاف الواقى فى توصيل الغلاف الواقى بالمحرك وبالماكينة العاملة. كما انها كثيرا تكون بمثابة كرسى المحور بالنسبة للكعبين.

ويختار العمود وفقا لمصنفات ما تنتجه الصناعة من أعمدة منتجة بالجملة حسب الحمل المعلوم ووفقا لظروف العمل.

المواد. تستخدم لصنع المحاور والاعمدة المواد التى يجب أن تتميز بمواصفات متانة عالية بدرجة كافية، حساسية لتركيز الاجهادات منخفضة بقدر الامكان، مقدرة على تقبل المعاملات الحرارية، والكيميائية الحرارية بهدف تخفيض تأثير تركيز الاجهادات وزيادة مقاومة المقعدات للتآكل بالاحتكاك، كما وان هذه المواد يجب ان تتسم بالاضافة الى ذلك بقابلية جيدة للتشغيل.

وبأخذ هذه المتطلبات فى الاعتبار، تستخدم لصنع المحاور والاعمدة فى انواع الصلب الكربونى Cт 3, Cт 4, Cт 5 والصلب 45, 40, 30, 25 الاعتيادى، والعالى حسب المواصفات السوفييتية ويستخدم اكثر من غيره الصلب 45، الذى يتميز بقابلية جيدة للتشغيل. فعن طريق اجراء المعاملة الحرارية اللازمة يمكن اعطاؤه خواص ميكانيكية عالية بحيث تزيد $\sigma_{u t}$ عن ٨٠ كجم/مم^٢، و σ_y عن ٥٥ كجم/مم^٢. ويتم التوصل للصلادة الموضعية العالية، المطلوبة لزيادة مقاومة المقعدات للتآكل بالاحتكاك، عن طريق التقسية والمعادلة حتى Rc 40-50.

والاعمدة العالية التحميل، تصنع بغرض توفير الحد الادنى من الاقطار والمقاومة العالية للتآكل بالاحتكاك بالنسبة لمقعداتها، تصنع أيضا من الصلب السبائكى بمختلف اصنافه والذى تجرى معاملته بمختلف انواع المعاملات الحرارية والكيميائية الحرارية، ولكن بسبب التكلفة العالية لتلك الانواع من الصلب وكذلك بسبب حساسيتها الشديدة لتركيز الاجهادات، يقيد استخدامها. أضف الى ذلك ان الخواص الميكانيكية العالية لانواع الصلب السبائكى لا يتسنى باستمرار استخدامها بالكامل، حيث أنه مع القطر الصغير الناتج من حسابات العمود، قليلا ما تتوفر الجساءة اللازمة له.

واعمدة المرفق اكثر ما تصنع من صلب المطروقات او المكبوسات

وكذلك من الحديد الزهر عالى المتانة والمحسن، وأنواعه هذه تتميز بالمتانة الكافية والحساسية القليلة لتركيز الاجهادات والمقدرة العالية على اخماد الاهتزازات؛ أما التركيبات المسبوكة فتتيح الفرصة باسهل ما يمكن أمام اعطاء عناصر أعمدة المرفق الاشكال التصميمية المحسنة.

تركيب وصلات العمود – السرة (الاحتكاكية وبالتعشيق) *

تدخل فى عداد الوصلات الاحتكاكية، الوصلات التى تتم بتوافقات ذات تداخل مضمون، والوصلات التى تقم بمساعدة حلقات الربط الزنبركية والحلقات القامطة. والخاصية المميزة لهذه الوصلات تعتبر أن نقل الحمل يتم بدون تغيير لشكل مقطع العمود (المحور) ولا السطح الداخلى لسرة الجزء المركب، ويتم بواسطة قوى الاحتكاك الناتجة على الاسطح المتقارنة للاجزاء المراد توصيلها.

والتركيبات الاساسية لوصلات التعشيق: الوصلات بالخوابير، الوصلات المسننة (الوصلات بالشقوب)، الوصلات بالتيلات، والوصلات الشكلية ويتم نقل الاحمال فى هذه الوصلات بواسطة أجزاء خاصة (بالتيلات أو الخوابير وغيرها)، او بالعناصر المعنية فى الاجزاء المراد توصيلها (الاسنان والشقوب) او بواسطة الشكل الخاص لهذه الاجزاء.

الوصلات ذات التداخل المضمون. واكثرها انتشارا هى الوصلات بالكبس، التى تنفذ بتداخل بين الاجزاء المراد توصيلها وصلات المحاور بعجلات عربات السكك الحديدية (الشكل ٢٣ – ٨ ،أ)، وتركيب الاطواق على هذه العجلات، وتركيب كراسى محاور التدحرج على الاعمدة والمحاور (الشكل ٢٣ – ٢، هـ)، وحافة العجلة الدودية على مركز العجلة (الشكل ٢٣ – ٨ ،ب)، ومختلف الجلب فى الاجسام ... الخ.

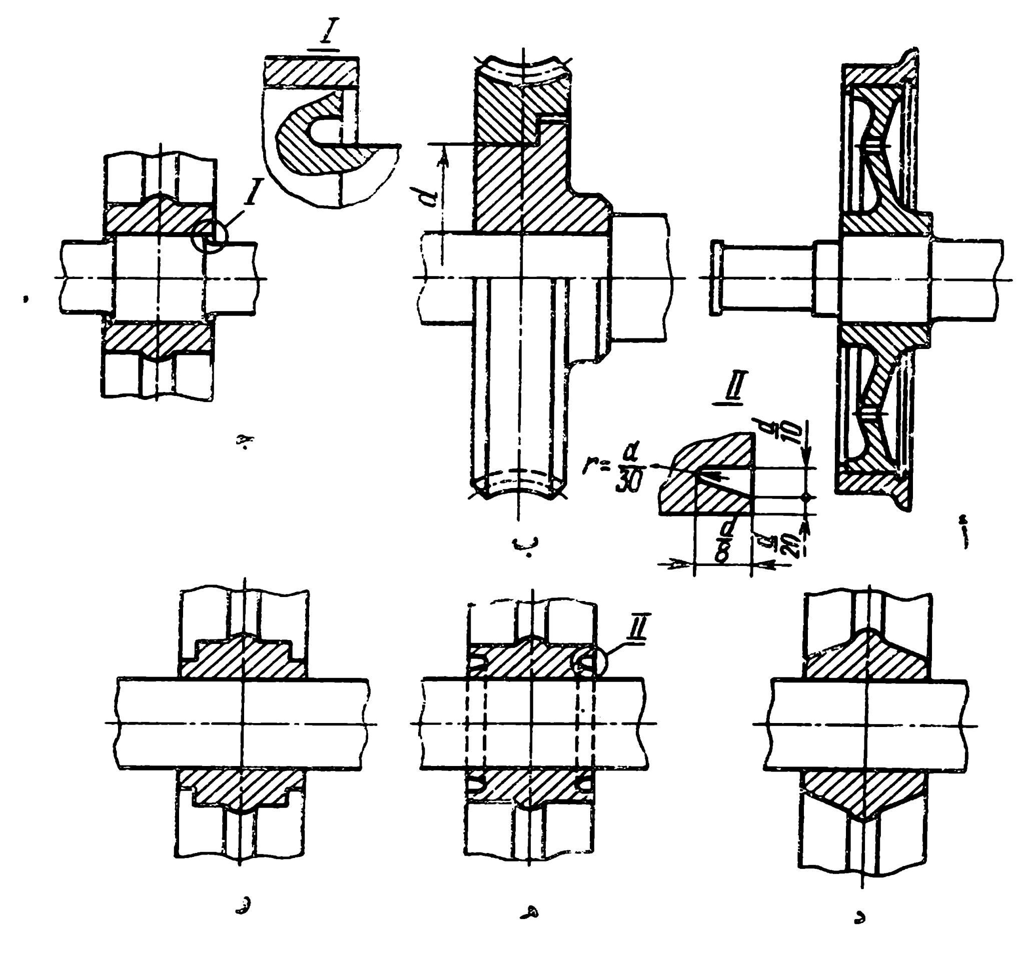
وتتميز هذه الوصلات ببساطة التصميم، وجودة مركزيتها، وبكفاءتها التى تضمنها التكنولوجيا المعمول بها فى معالجة الاسطح المتقارنة (نقاوة الاسطح ودقة شكلها الهندسى)، وكذلك تجميعها.

أما عيوبها فتعتبر: صعوبة التحكم فى درجة كفاءتها التعويل عليها أثناء عملية التجميع؛ الدقة العالية المطلوبة فى أبعاد أسطح الاقتران؛ الانخفاض الشديد فى متانة الكلال للاعمدة من جراء

---

* تعتبر المعلومات الواردة هنا حول تصاميم وحسابات الوصلات، معلومات عامة؛ فهى تشمل أيضا حالات استخدامها، عندما تكون الاجزاء المراد توصيلها اذا دققنا القول، وتعتبر لا أعمدة ولا جلب (مثلا عند تركيب حافة عجلة دودية على مركزها وغير ذلك).

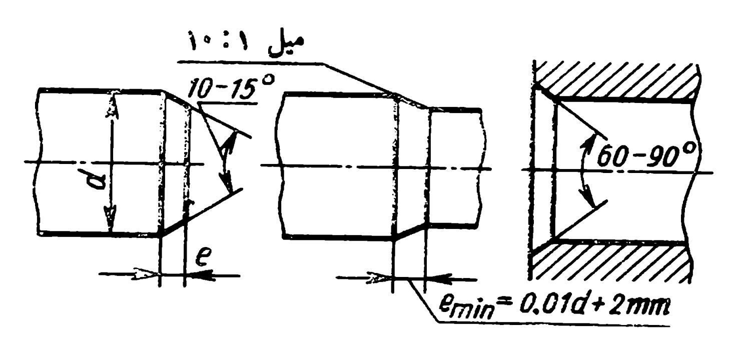
الاقتران بواسطة التداخل نتيجة تركيز الاجهادات، وكذلك بسبب احتكاك التماس (أى الصدأ الاحتكاكى) فى الاسطح المتقارنة؛ اصابة الاسطح المتقارنة أثناء الكبس تحت المكبس وما ينتج عنه من



الشكل ٢٣ - ٨

انخفاض درجة الكفاءة على الوصلة عند تكرار عمليات الفك واعادة الكبس على هذه الاجزاء نفسها، وغير ذلك.

ويمكن تنفيذ الوصلات موضع البحث بتسليط قوة محورية من مكبس بحيث يدخل أحد الاجزاء فى الاخر بالمقدار المرغوب. وشكل حواف الاسطح المقترنة يعتمد على مقدار جهد الكبس وعلى حالة الاسطح. ويوضح الشكل ٢٣-٩ توصيات باشكال وابعاد هذه الحواف. واجراء الشطب على طرف الجزء المحيط يضمن مركزة أفضل.



الشكل ٢٣ - ٩

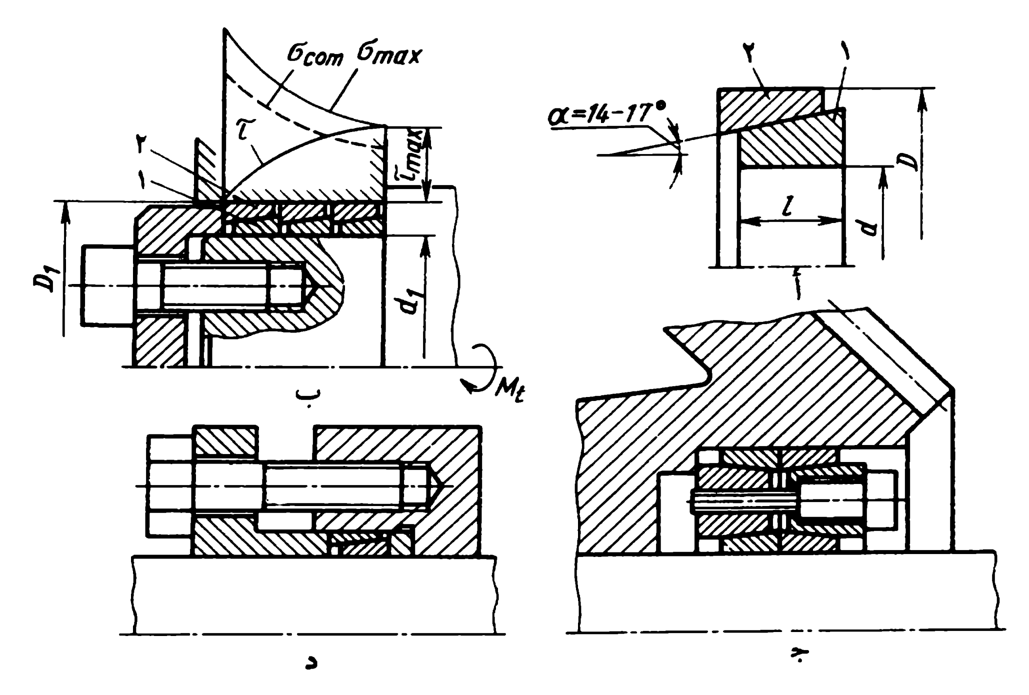
وبغية تكوين وصلة الكبس كثيرا ما يسخن الجزء المحيط (الانثى) أو يبرد الجزء المحاط (الذكر) الى أن تصل درجة حرارته الى درجة يمكن عندها التجميع بحرية. وتضمن هذه الطريقة

الحصول على وصلات اكثر متانة (بحوالى ٥ر٢ مرة)، حيث أن عدم الانتظام فى الاسطح المقترنة يتضاءل فى هذه الحالة.

وعمليات الكبس يمكن ان تجرى بمساعدة طبقة من الزيت، تنشأ ادخال (ضخ) الزيت تحت ضغط كبير (حتى ١٠٠٠ - ٢٠٠٠ جوى) الى منطقة اقتران الاجزاء. ولهذه الطريقة خواص تميزها عن الطريقة الاعتيادية منها على وجه الخصوص ارتفاع درجة كفاءة الوصلة، وخصوصا عند تكرار الكبس، حيث أن حالة اسطح الاقتران لا تختل. والوصلات المتكونة بهذه الطريقة يمكن اعتبارها وصلات قابلة للفك.

ونتيجة للتركيب بالكبس، تقل كثيرا قوة احتمال الاعمدة والمحاور.

ويمكن زيادة قوة احتمالها (بمقدار ٥ر١-٢ مرة) بالطرق التالية: زيادة قطر الجزء السرّى (طول السرّة يجب ان يكون اكبر من طول قطاع



الشكل ٢٣ - ١٠

الاقتران فى العمود، الشكل ٢٣ - ٨، جـ) مع تقليل الاجهادات المقدرة؛ اختيار الاشكال المثلى لمنحنيات الانتقال (ذات نصفى القطرين أو ثلاثة انصاف الاقطار أو ذات التجويف التحتى، الشكل ٢٣ - ٨، جـ)، مما يؤدى الى تخفيض معامل تركيز الاجهادات؛ تدوير الحافة الحادة للسرّة؛ بزيادة مطيلية السرّة فى اجزائها الطرفية (الشكل ٢٣ - ٨، د - و) او باستخدام أشكال خاصة لخراطة السرّة بفرض تخفيض عدم انتظام توزيع الاجزاء المماسة على الاسطح المتقارنة وغير ذلك.

وصلات الحلقات الزنبركية الشادة. يوضح الشكل ٢٣ - ١٠ وصلات متكونة بمساعدة الحلقات الزنبركية الشادة وغير المشقوقة (الشكل ٢٣- ١٠، أ). فعندما تشد الحلقات محوريا (الشكل ٢٣ - ١٠، ب) تضغط الحلقة الداخلية (١)، أما الخارجية (٢) فتشد، علما بأن قطرها

يزداد . والضغط المحورى الكبير الذى تكونه الحلقات المرنة يؤدى الى نشوء قوة احتكاك قطرى كبيرة على اسطح التلامس (بين العمود والحلقة الداخلية، وبين الحلقتين ۱ ، ۲ ، وبين الحلقة الخارجية والسرّة)، مما يضمن نقل الاحمال . وتصنع الحلقات من صلب خاص، ثم تعرض للمعاملة الحرارية.

ومن بين ميزات هذه الوصلات، التخفيض الادنى لاحتمال الاعمدة بالمقارنة التصاميم الاخرى للوصلات من طراز العمود - السرّة؛ قابليتها للتركيب والفك المتكررين بدون تقليل درجة الكفاءة؛ امكانية التركيب الدقيق للاجزاء المركبة بخلوصات أقل صرامة ما هو عليه فى الوصلة بالكبس وامكانية تثبيت الاجزاء على أى موضع من العمود (الشكل ۲۳ - ۱۰ ، ج ، د)؛ بساطة ضبط الوضع الزاوى للجزء المركب على العمود .

ومن عيوبها : ضرورة استخدام اجزاء خاصة مصنعة بدقة - الحلقات الزنبركية (ويصبح استخدامها مرغوبا من الناحية العملية عندما يكون انتاجها ممركزا)؛ زيادة قطر السرة المركب فيها الجزء.

ويمكن تنفيذ الوصلة باستخدام مجموعة واحدة أو عدة مجموعات (فى العادة لا يزيد عددها عن ثلاث) من الحلقات الزنبركية.

وتأثير نقاوة الاسطح العاملة على مقدرة الحمل فى الوصلات معلوم . والدرجة المثلى لنقاوة اسطح الاقتران للحلقات المصنوعة من الصلب Cт. 3 ، والصلب 40 ، هى الدرجة الثامنة (حسب المواصفات القياسية السوفييتية) .

وصلات الخابور. حصلت هذه الوصلات على استخدام واسع بفضل بساطة تركيبها ودرجة كفاءتها ، وسهولة تجميع وفك الوحدة ورخصها وغير ذلك.

وعيوب الوصلات من هذا الطراز تعتبر :

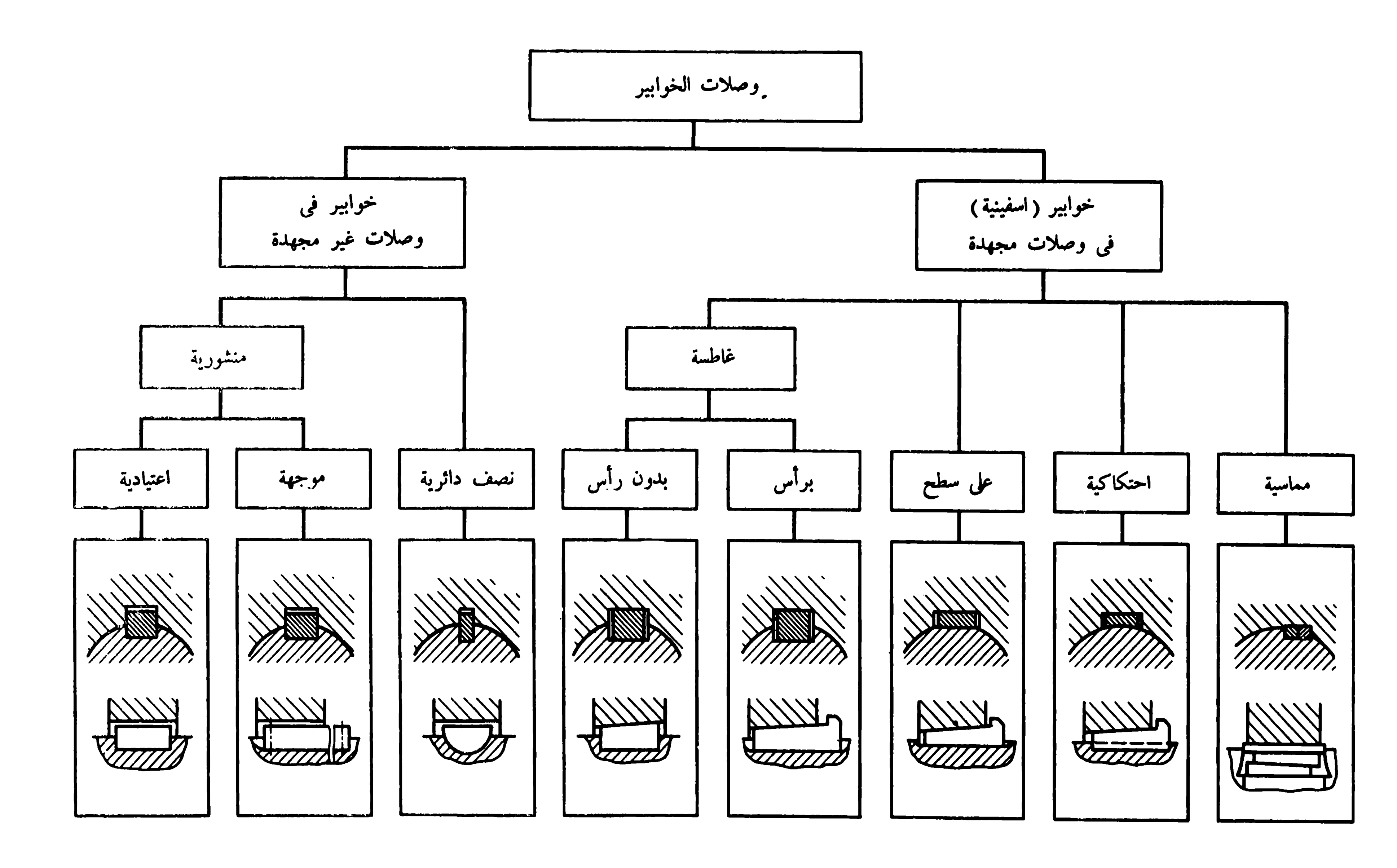
۱ - تخفيض مقدرة الحمل فى الاجزاء المقترنة ، الذى يسببه تقليل مساحات مقاطعها بواسطة مجارى الخوابير والمسطحات (flats) والثقوب اللازمة لوضع وتثبيت الخوابير، وكذلك بسبب التركيز الشديد فى الاجهادات فى هذه المقاطع.

۲ - صعوبة التوافق الدقيق (المركز) للاجزاء .

والتصاميم الاساسية للخوابير ووصلاتها ، المستخدمة فى بناء الماكينات خاضعة للتوصيف القياسى (الشكل ۲۳ - ۱۱) . وتشتمل المواصفات على ثلاث مجموعات من الخوابير: الاسفينية (المائلة)، المنشورية ونصف الدائرية.

ويدخل فى عداد مجموعة الخوابير الاسفينية التى تكون وصلات اجهادية : الخوابير الغاطسة والمماسية. وكذلك الخوابير التى لم تشملها المواصفات القياسية ، الى الخوابير نصف المسطحة والخوابير الاحتكاكية.

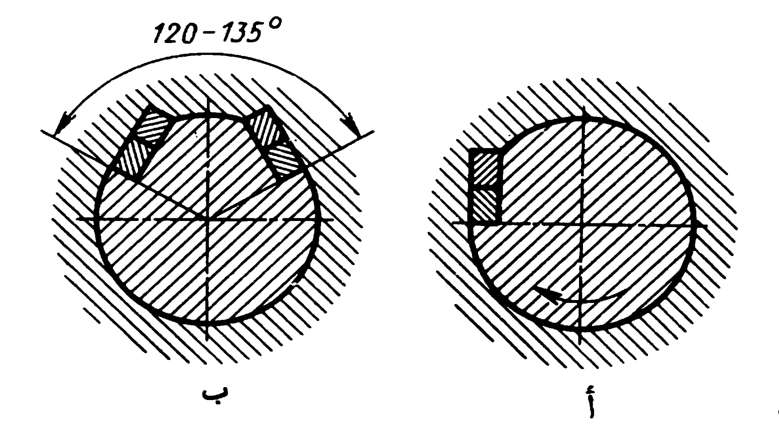
وتتمتع الخوابير الغاطسة والخوابير نصف المسطحة بشكل مستطيل فى


وصلات الخوابير
خوابير (اسفينية)
فى وصلات مجهدة
خوابير فى
وصلات غير مجهدة
غاطسة
منشورية
مماسية
احتكاكية
على سطح
برأس
بدون رأس
نصف دائرية
موجهة
اعتيادية

الشكل ٢٣ - ١١

مقطعها العرض. اما الخوابير الاحتكاكية فيكون لها ضلع يستند الى العمود ويتحدد بالسطح الاسطوانى ذى نصف القطر المساوى لنصف قطر العمود ، وهو ما يعتبر من مزاياه، حيث أنه لا يتطلب شق مجرى او قناة على العمود لتركيبه. وتعمل الخوابير الغاطسة ونصف المسطحة والاحتكاكية بواسطة جوانبها (اضلاعها) العريضة، وعند تجاوز تحميل الخوابير الغاطسة فان الاخيرة تعمل أيضا بالاضلاع الجانبية (الضيقة).

والخوابير الاسفينية لها ميل $i = 1:100$. ويصنع قاع المجرى فى السرّة بنفس الميل ، أما المجرى على العمود فيفتح بدون ميل. ويركب الخابور المماسى بحيث يكون جانبه العريض متجها فى اتجاه المماس ويكون أحد الجوانب الاخرى فى اتجاه نصف قطر العمود. ويتكون هذا الخابور من قطعتين اسفينيتين تميل كل منهما من جانب واحد بميل ($i = 1:100$) ومقطعهما مستطيل. وعند حدوث ازاحة نسبية بينهما تنشأ على أسطح المجرى العاملة وكذلك على الخابور ضغوط عمودية كبيرة.



الشكل ٢٣-١٢

وتشمل المواصفات القياسية الخوابير المماسية العادية والمقواة؛ والنوعان يختلفان من حيث الابعاد.

ويجب عند استخدام الخوابير المماسية الاخذ فى الاعتبار اتجاه الدوران (الشكل ٢٣-١٢، أ). ويلزم لمجموعة عكس الدوران تركيب زوجين من الخوابير المماسية (الشكل ٢٣-١٢، ب).

ومن بين الخوابير الاسفينية عادة ما تستخدم الخوابير الغاطسة اما الخوابير الاحتكاكية وكذلك الخوابير نصف المسطحة فيكون بوسعها نقل عزوم اللى الصغيرة نسبيا.

ومقدار عزم اللى المنقول بالوصلة المكونة من الخابور الاسفينى يعتمد على قوى الاحتكاك الناتجة على الجوانب العاملة. وبغرض زيادة هذه القوى، يجب خلق قوى عمودية كبيرة على الاسطح العاملة؛ وهذه القوى منشأ نتيجة لحشر (لكبس) الخابور فى مجراه، وتؤدى الى اجهاد الوصلة قبل تسليط الحمل الخارجى. وهكذا، فان الجزء المركب على العمود يصبح تحت تأثير قوى متعارضة تؤدى الى انحراف محوره عن محور العمود بمقدار خلوص التوافق او الى تشويه الجزء. وعند تثبيت الأجزاء ذات السرّات القصيرة بمساعدة الخوابير الاسفينية يمكن حدوث انحراف للجزء بالنسبة لمحور العمود.

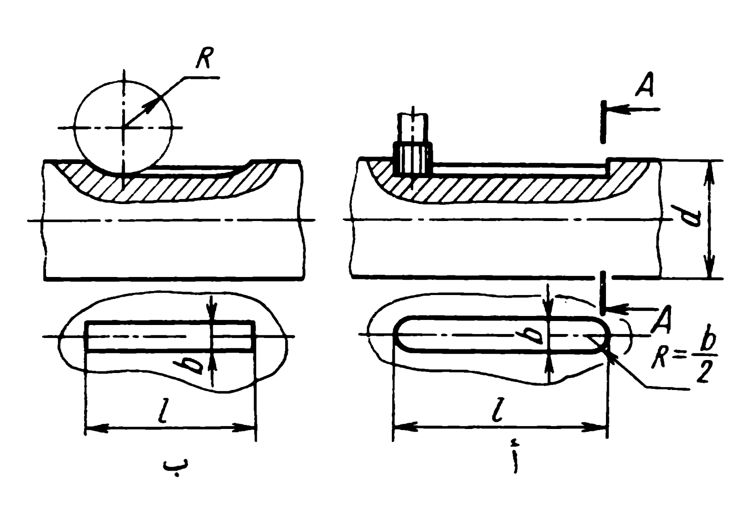
وهذه الاسباب تقيد من مجال استخدام الخوابير الاسفينية؛ فهى

تركيب فقط حيث لا تطرح متطلبات عالية بالنسبة للدقة. ففي هذه الحالات لا يدعو الامر عادة الى المحافظة على الجزء المركب من الانحراف المحورى ؛ وقوى الاحتكاك الناتجة على الاسطح العاملة تعيق هذا الانحراف.

ويتم التوصل الى دقة أعلى عن طريق استخدام الخوابير المنشورية ونصف الدائرية التى تكون الوصلات غير الاجهادية.

وللخوابير المنشورية مقاطع مستطيلة، وهى تعمل بواسطة اضلاعها الجانبية (الضيقة)، وتكون وصلات خوابير غير متحركة (أى أنه لا توجد ازاحة نسبية محورية للاجزاء)، ومتحركة (اى هناك امكانية للازاحات المحورية). وفى الحالات الاخيرة تثبت الخوابير بالضرورة بواسطة مسامير ملولبة، اما على المحور (الخوابير الدليلية) او فى السرة (الخوابير المنزلقة).

ويجب ايلاء اهتمام كبير بتصنيع مجارى الخوابير؛ وعادة تنفذ بقطوع تحتية فى اركانها وباماكن انتقال حادة الاضلاع وهو كثيرا ما يؤدى الى حوادث خطيرة. ونتيجة للابحاث تم تحديد تأثير شكل المجرى فى المقطع الطولى : فيقع التحطم كقاعدة عامة عند مخرج المجرى، فى المقطع $A-A$ (الشكل ٢٣ - ١٣). ومعامل تركيز الاجهادات الفعال k_σ للاجزاء ذات المجارى المفتوحة بسكينة التعزيز القرصية وذات المخرج التدريجى (الشكل ٢٣ - ١٣، ب) أقل بنسبة ٢٠٪ تقريبا من حالة المخرج الناتج عند تصنيع المجرى بسكينة تفريز مجارى الخوابير الاعتيادية (الشكل ٢٣ - ١٣، أ).



الشكل ٢٣ - ١٣

والخوابير نصف الدائرية تعمل بواسطة احرفها الجانبية، وهى تركب فى مجارى عميقة مما يقلل من متانة العمود، لذا تستخدم فقط عند تأثير أحمال غير كبيرة نسبيا.

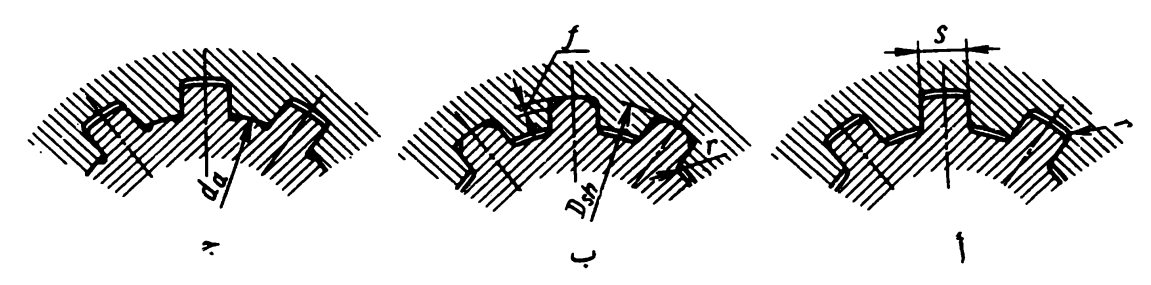
وعناصر وصلات الخوابير الأساسية (مقاطعها ومجاريها)، خاضعة للتوصيف القياسى. وتحوى المواصفات القياسية أبعاد الخوابير ($b \times h$) والمجارى ... الخ بالنسبة لمختلف تصاميم الخوابير وتبعا لقطر العمود d. ولصنع الخوابير يجب استخدام الصلب المسحوب (حسب المواصفات القياسية) وأنواع اخرى من الصلب ذات حد المتانة الذى لا يقل عن ٦٠ كجم/مم٢.

<u>الوصلات المسننة</u>. نتيجة لتعقد نظم التحميل ولارتفاع المتطلبات

الخاصة بدقة حركة الاجزاء، أخذ استعمال الوصلات المسننة يزداد اتساعا.
والمزايا الاساسية لهذه الوصلات أمام وصلات الخوابير تعتبر: امكانية نقل جهود كبير بفضل السطح الكبير للتماس بين الاسنان؛ المركزة الافضل بين الأجزاء المتقارنة والتوجيه الافضل لازاحة الجلبة (السرّة) على طول العمود، وذلك نتيجة للتكنولوجيا الاكمل فى تصنيع عناصر الوصلات من هذا الطراز.

ويدخل فى عداد عيوب الوصلات المسننة: ١ - ظهور اجهادات موضعية فى زوايا الدخول للمجارى (وخصوصا بالنسبة للاسنان ذات الزوايا القائمة) ولو ان هذه الاجهادات اقل مما هى عليه فى حالة مجارى الخوابير؛ ٢ - حتمية عدم انتظام توزيع الحمل المنقول بواسطة الوصلة بين الاسنان؛ ٣ - ضرورة وجود معدات وعدد خاصة - سواء عدد القطع أم عدد القياس وذلك لانتاج الاعمدة والجلب المسننة.

والوصلات المسننة تنقسم الى وصلات متحركة، عندما يتطلب الامر توفير امكانية الازاحة المحورية للاجزاء المركبة على الاعمدة (مثل



الشكل ٢٣ - ١٤

العجلات المسننة فى صناديق السرعات فى ماكينات التشغيل والسيارات .. الخ)، والى وصلات ثابتة.

وفى حالة الوصلات المُتحركة يكون القسم المسنن من العمود اسطوانيا، أما فى حالة الوصلات الثابتة فانه يمكن تشكيل الاسنان على سطح مخروطى أيضا.

وفى الوصلات المسننة المخروطية يرتفع احكام توافق السرّة على العمود، وتقل خطورة فك الوصلة ذاتيا نتيجة للاهتزازات الناتجة عن نظام التحميل المتغير. وتستخدم هذه الوصلات اكثر ما تستخدم فى السيارات والجرارات .. الخ.

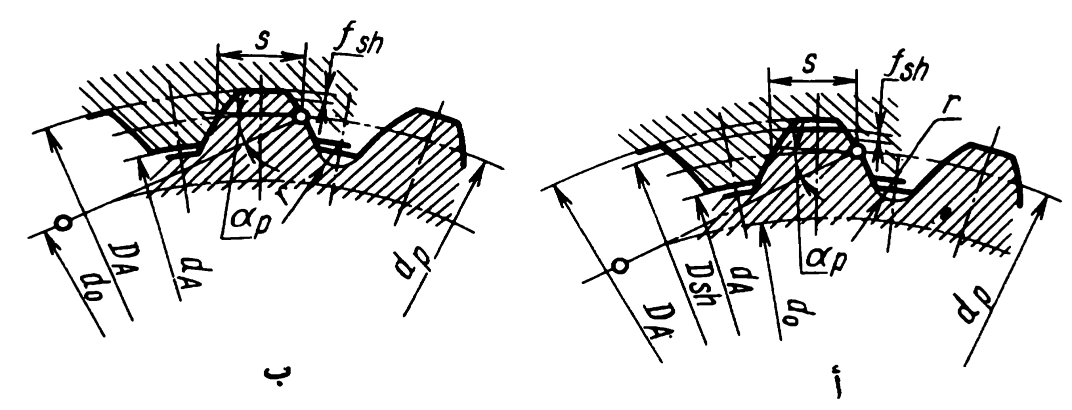
وسوف نبحث فيما يلى الوصلات الاسطوانية فقط.

تنقسم هذه الوصلات تبعا لمقاطع الاسنان الى وصلات ذات أسنان قائمة الجوانب (الشكل ٢٣ - ١٤)، وانفوليوتية (الشكل ٢٣ - ١٥، أ، ب)، ومثلثة (الشكل ٢٣ - ١٦).

والابعاد الأساسية للوصلات ذات الأسنان القائمة الجوانب خاضعة للتوصيف القياسى.

وتتم مركزة الوصلات ذات الاسنان القائمة الجوانب كالاتى : حسب القطر الخارجى (الشكل ٢٣ - ١٤ ، ب) ، وحسب القطر الداخلى (الشكل ٢٣ - ١٤ ، جـ) ، وحسب الأسطح الجانبية للاسنان (الشكل ٢٣ - ١٤ ، أ). واختيار نظام المركزة يعتمد قبل كل شىء على الدقة المطلوبة فى التوافق بين السرّة والعمود وعلى نظام التحميل.

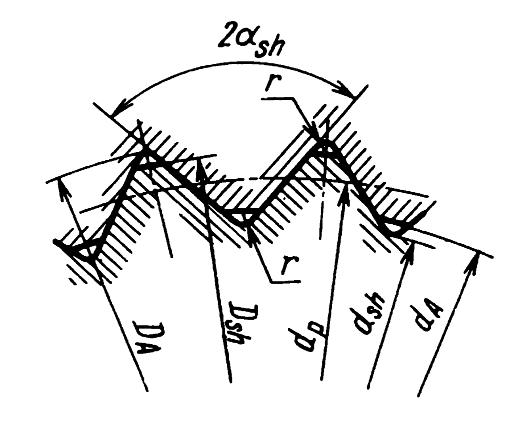
ففى حالة متطلبات الدقة العالية بالنسبة لتوافق الجلبة تتم المركزة وفق القطر الخارجى او الداخلى. وتجرى المركزة وفق القطر



الشكل ٢٣ - ١٥

الخارجى فى الحالات التى لا يعرض فيها للمعاملة الحرارية سطح الثقب فى الجلبة او عندما تكون صلادته بمقدار يسمح باجراء ضبط الابعاد بواسطة تخليق الثقوب بالسحب. وعند وجود حمل كبير ومتطلبات مخفضة بالنسبة لمركزة الجلب تستخدم المركزة الجانبية لانها تضمن توزيعا أفضل للحمل بين الاسنان.

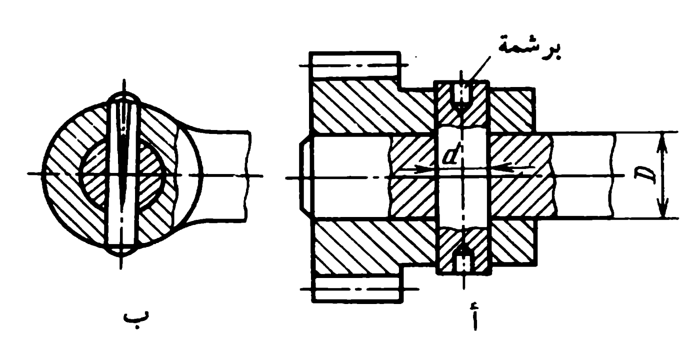
والوصلات المسننة الانغوليوتية (الشكل ٢٣ - ١٥ ، أ ، ب) تتمتع بمزايا كبيرة بالمقارنة مع الوصلات ذات الاسنان القائمة الجوانب. فالاولى تتميز بمقدرة حمل أعلى وذلك بفضل الازدياد التدريجى لسمك، ولعدم وجود مواضع انتقال فجائى بينها وبين جذورها مما يساعد على تقليل تركيز الاجهادات. فمثلا بالنسبة للاعمدة المصنوعة من الصلب ذى $\sigma_u = (40 \div 70)\ \mathrm{kgf/mm^2}$ ، تكون قيمة المعامل الفعال لتركيز الاجهادات للاسنان قائمة الجوانب، والاسنان الانغوليوتية $k_\tau = (2.0 \div 2.45)$ و $k_\tau = (1.40 \div 1.49)$ على التوالى. وبفضل تطور التكنولوجيا يمكن تصنيع عناصر هذه الوصلات بدقة تقترب من دقة تصنيع العجلات المسننة. كما يتم التوصل فى هذه الوصلات الى مركزة أفضل. كما وتضمن تكاليف اقل فى التصنيع بواسطة العدة القاطعة البسيطة (سكاكين التغريز الدودية ذات الحواف القاطعة المستقيمة) ، ومن جراء تقليل مصنفات سكاكين التغريز



الشكل ٢٣ - ١٦

(فالفريزة الواحدة ذات الموديول الواحد تصلح لتشغيل الاجزاء المسننة من مختلف الاقطار وبمختلف عدد الاسنان) .. الخ .

والابعاد الأساسية للوصلات الانفوليوتية تحددها المواصفات القياسية، وهي كالاتي : عدد الاسنان من ١١ الى ٥٠ سنة؛ متوالية الموديولات ١؛ ١٫٥؛ ٢؛ ٢٫٥؛ ٣٫٥؛ ٥؛ ٧؛ ١٠ مم؛ زاوية المحيط الابتدائي ٣٠° . كما وان المواصفات القياسية هذه تنص على ان المركزة تتم في الاسطح الجانبية للاسنان (الشكل ٢٣-١٥، أ) او عند القطر الخارجي (الشكل ٢٣-١٥، ب).



الشكل ٢٣ - ١٧

والوصلات ذات الاسنان المثلثة (الشكل ٢٣-١٦) تستخدم عند نقل عزوم لي غير كبيرة، وهي في أغلب الاحيان من الوصلات المكبوسة. ولا توجد مواصفات قياسية لعموم الاتحاد السوفييتي بالنسبة لهذه الوصلات ولكن فقط توجد معدلات تم تحديدها من قبل هيئات معينة.

الوصلات ذات التيلات* (الشكل ٢٣ - ١٧). تستخدم هذه الوصلات لنقل الاحمال غير الكبيرة حيث أن مقدرة تحملها تتحدد بقطر التيلة وهو في العادة صغير نسبيا. ويضعف العمود نتيجة لتقليل مقطعه ونتيجة لحدوث تركيز اجهادات كبير، لذا فان مجال استخدام هذه التصاميم محدود. وفي بعض الحالات تستخدم هذه التيلات كعنصر محافظ على سلامة الوحدة (الماكينة) من اضرار تجاوز التحميل (انظر مثلا ص ٤٨٧). وعند حدوث مقاومة تزيد عن الحمل الحسابي تتحطم التيلة لكونها أضعف عنصر في الوصلة، مما يستحيل بعده مواصلة نقل الحمل.

والشكل (٢٣ - ١٨، أ - هـ) يوضح بعض تصاميم التيلات؛ وتكون اهم هذه التيلات قياسية وهي التيلات المخروطية؛ المخروطية ذات الطرف الملولب؛ الاسطوانية؛ المخروطية المشقوقة.

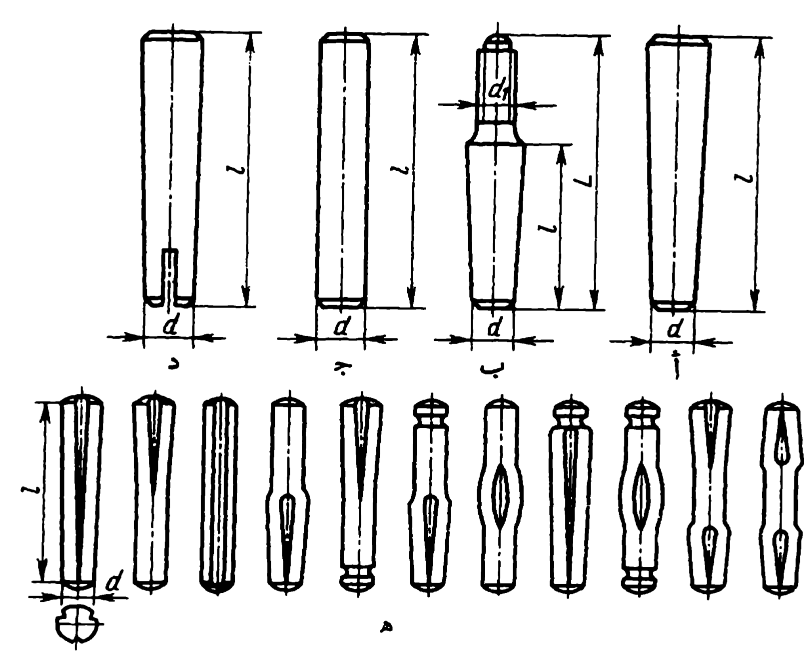
والتيلات الاسطوانية تثبت في ثقوبها بواسطة الاحتكاك الناتج عن تركيبها بالتداخل، أو عن طريق برشمة اطرافها (الشكل ٢٣ - ١٧، أ) وغير ذلك من الطرق.

---

* لا نبحث هنا حالات استخدام هذه التيلات كعناصر لضبط التركيب تحدد المواضع التبادلية بين الاجزاء المتقارنة، مثلا في حالة التراكيبات المسطحة (انظر الشكل ٢١ - ٣).

والتيلات المخروطية تنفذ بميل قدره ١ : ٥٠ . وهى تتميز بالمقارنة مع التيلات الاسطوانية، بامكانية استخدامها لعدة مرات فى ثقب واحد لا يتغير.

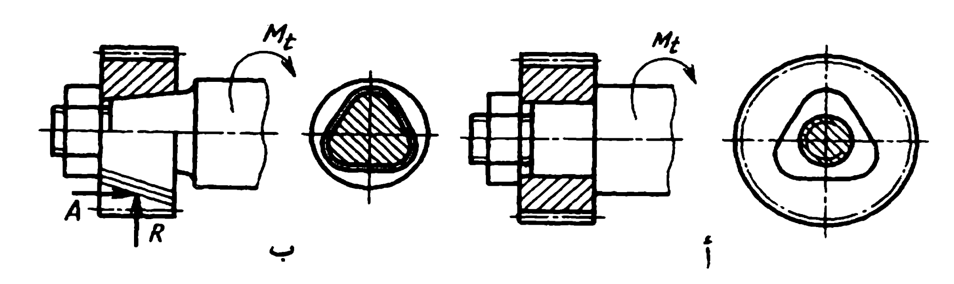
كما وتستخدم أيضا تيلات ذات قنوات (الشكل ٢٣ - ١٨، هـ) تشكل بواسطة الضغط او بعملية التثليم (notching) على طول المسمار او فى جزء منه فقط؛ ومثل هذه التيلات تسمى بالتيلات المثلمة وتركب فى ثقوب (الشكل ٢٣ - ١٧، ب) يتم صنعها بمثقاب اعتيادى بدون ان تتعرض لعمليات تشغيل اكثر دقة. وتسمح هذه التيلات بتكرار استخدامها فى ثقب واحد لا يتغير.



الشكل ٢٣ - ١٨

وتصنع التيلات المخروطية والاسطوانية من أنواع الصلب 45 ، 15 و A12 أو У8 .

الوصلات الشكلية (الجانبية). من هذه الوصلات (الشكل ٢٣ - ١٩) يحدث التماس بين الاسطح المتقارنة على امتداد سطح أملس غير دائرى، رواسمه موازية لمحور العمود (أ) ، أو مائلة عليه (ب). والنوع الاخير يمكنه علاوة على عزوم اللى نقل الاحمال المحورية ايضا . وتمتاز هذه الوصلات بدرجة عالية من الكفاءة.



الشكل ٢٢ - ١٩

واذا ما قورنت هذه الوصلات بوصلات التعشيق التى تعرضنا لها أعلاه، لوجدنا أن الأولى تضمن مركزة أفضل وتتميز بدرجة تحمل اعلى وذلك بفضل عدم وجود مجار أو قنوات أو ثقوب فيها وغير ذلك من مركزات الاجهادات. ولكن بسبب الصعوبات ذات الطابع التكنولوجى فان هذه الوصلات ما زالت محدودة الانتشار.
وقضايا هندسة الوصلات الشكلية، ومسائل تصنيعها وحساب متانتها ترد فى مراجع خاصة.

حساب المتانة

انواع أعطاب الاعمدة والمحاور. معايير الحسابات: تحمل تحطمات الاعمدة والمحاور فى أغلب الحالات طابعا كلاليا. ويمكن أن تكون أسبابها فيما يلى :

١ - عدم التوفيق فى اختيار الشكل التصميمى للجزء، والتقييم غير الصائب لتأثير تركيز الاجهادات الناتجة عن هذا الشكل ؛

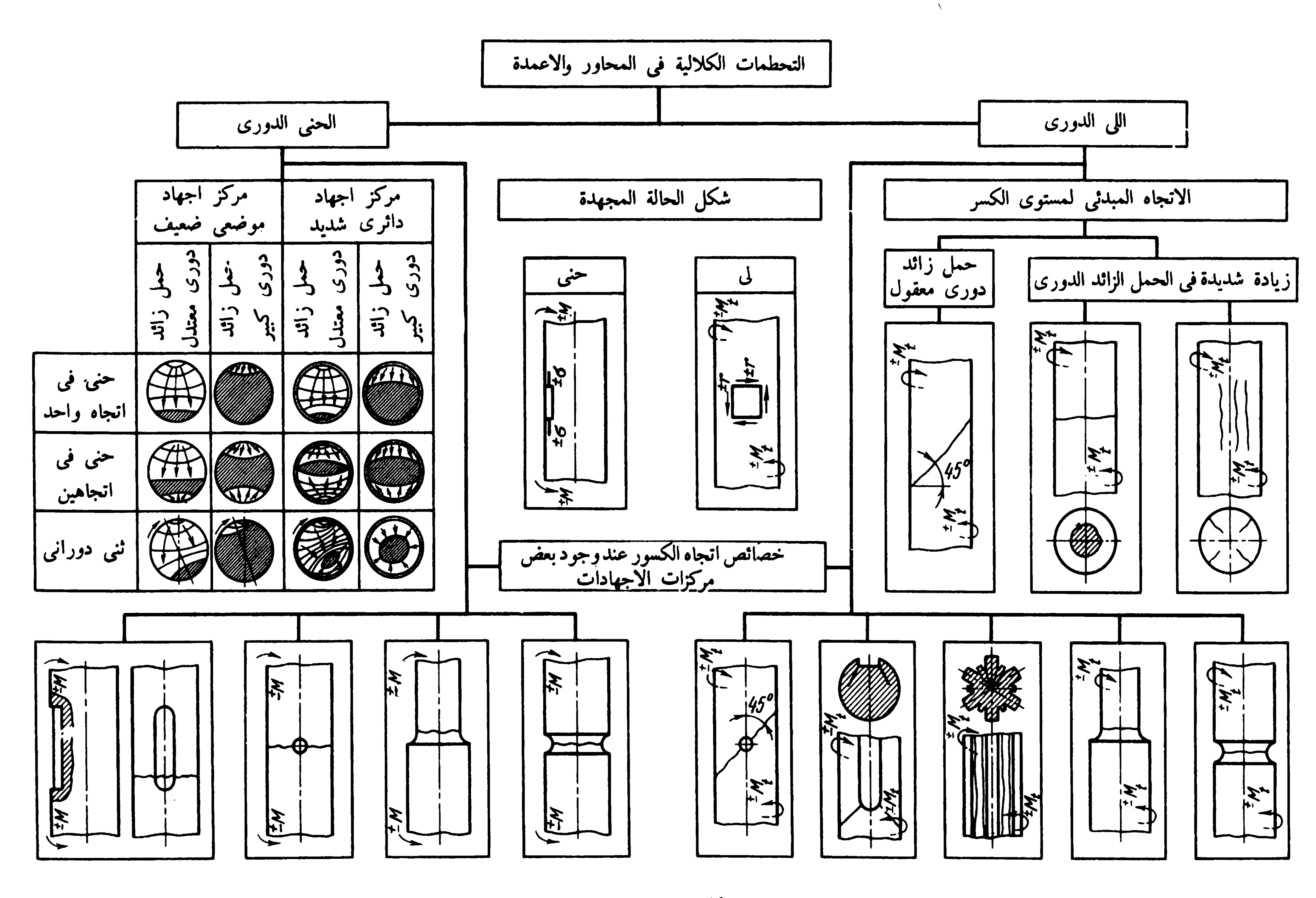
٢ - تركيز الاجهادات الناتج عن العوامل ذات الطابع التكنولوجى أو طابع الاستخدام (القطوع التحتية، آثار التشغيل الميكانيكى وغيرها) ؛

٣ - الخروج عن قواعد الاستخدام الفنى (الخطأ فى ضبط احكام كراسى المحاور، وتقليل الخلوصات اللازمة . . الخ) .

وفى أغلب الحالات تحدث التحطمات فى منطقة وجود مركزات الاجهادات مثل مجارى الخوابير ومنحنيات الانتقال، والثقوب القطرية ومناطق الكبس وغيرها .

ويوضح الشكل ٢٣ - ٢٠ رسوم التحطمات الكلالية للمحاور والاعمدة عند مختلف انواع التحميل؛ كما يوضح خصائص تفاقم سطح التحطم تبعا لنوع التحميل ومركز الاجهادات.

ومن وصلات التعشيق، عند حدوث التقييم غير الصائب للاحمال المؤثرة، يمكن نشوء سحق فى الاسطح العاملة من مجارى الخوابير، وفى الخوابير نفسها والاسنان (الشقوب)، او أن يحدث تآكل فى



التحطمات الكلالية فى المحاور والاعمدة
الحنى الدورى
اللى الدورى
مركز اجهاد موضعى ضعيف
مركز اجهاد دائرى شديد
حمل زائد دورى معتدل
حمل زائد دورى كبير
حنى فى اتجاه واحد
حنى فى اتجاهين
ثنى دورانى
شكل الحالة المجهدة
حنى
لى
الاتجاه المبدئى لمستوى الكسر
حمل زائد دورى معقول
زيادة شديدة فى الحمل الزائد الدورى
خصائص اتجاه الكسور عند وجود بعض مركزات الاجهادات
45°

الشكل ٢٣ - ٢٠

أسنان الوصلات المسننة، وغير ذلك من انواع الاعطاب السطحية. وتلاحظ فى هذا ارتخاءات فى الوصلات، وحدوث انحرافات الاجزاء المركبة عن المستوى العمودى على المحور، وغيرها من الظواهر غير الطبيعية، التى تؤثر على تأثير القوى المتبادل بين الاجزاء المتقارنة (درجة الديناميكية، طابع توزيع الاحمال على الاسطح المتلامسة .. الخ).

وفى الوصلات الاحتكاكية (مثلا التى تحتوى على تداخل مضمون) يكون السبب فى هبوط المتانة الكلالية هو التأكل الاحتكاكى، وتركيز الضغوط على القطاعات الموجودة بالقرب من اطراف السرّة. وتحت تأثير الازاحات النسبية الدقيقة جدا بين الاسطح المتماسة، يختل تلاحم الطبقة السطحية للعمود، وتخلق المهدات أمام ظهور بؤرة للتحطم الكلالى.

ويعتبر توفير الجساءة اللازمة للاعمدة والمحاور بالنسبة للثنى شرطا هاما للتشغيل الطبيعى للوحدة المعنية من الماكينة كلها. واذا حصل فى هذه الاجزاء ثنى اكثر من اللازم، تسوء ظروف عمل وحدات الركائز (دوران المقعدة فى مرتكز العمود يغير من مقدار الخلوص، وبالتالى سمك طبقة الزيت بما يصل الى انقطاع أو تمزق هذه الطبقة) كما يتغير طابع التأثير المتبادل بين الاجزاء المتقارنة (يختل التلامس الطبيعى فى حالة الاعمدة غير الجاسئة، بين اسنان العجلات المسننة، وبناء على ذلك يختل نظام توزيع ضغوط التلامس على اسطحها العاملة). ان الجساءة غير الكافية لاعمدة ادارة ماكينات تشغيل المعادن تؤثر على دقة اسطح الاجزاء الجارى تشغيلها وعلى نقاوة اسطحها.

وتكون لتحديد قيمة تشوه الأعمدة باللى عن بعض التركيبات أهمية كبرى. فمثلا يكون هذا التحديد بالنسبة لاعمدة ادارة آليات تحريك المرفاعات القنطرية شرطا هاما لتلافى انحراف المرفاع عند تحريكه. وعند حدوث التواءات فى العمود المسننة (العمود ذى الشقوب) بزوايا كبيرة، يزيد عدم الانتظام فى توزيع الحمل على طول رواسم الاسنان؛ وتصبح الاسنان حلزونية، مما يؤدى الى ظهور ميل نحو الازاحة المحورية للعجلات المسننة المركبة على هذه الاعمدة. ويؤثر هذا تأثيرا ضارا على طابع التعشيق.

وتوجد أيضا حالات تتحطم عندها الاعمدة نتيجة للاهتزازات العمودية أو اهتزازات اللى. اذا فان المراجعة الحسابية للعمود على مقاومة الاهتزازات وخلق الظروف اللازمة لتجنب حدوث اهتزازات عمودية او اهتزازات اللى، تعتبر الزامية فى الكثير من الحالات. ولا يشمل المنهج الحالى حساب الاعمدة على اهتزازات اللى اذ ان ذلك يرد فى مناهج خاصة.

وبناء على ذلك فان المهام المرجوة من حساب الاعمدة والمحاور

هى : ضمان متانتها الحجمية ؛ ضمان متانة الاسطح العاملة لعناصر وصلاتها ، تحديد قيمة تشوه الثنى والليّ فى الحدود المسموح بها ، اختبار العمود على مقاومته للاهتزازات .

ان تعيين ظروف العمل الطبيعى لمقعدات الاعمدة فى كراسى محاور الانزلاق يعتمد على تصميم الاخيرة وعلى ما يرد ادناه (انظر ص ٥٠٦).

الرسم التخطيطى الحسابى . تحسب الاعمدة والمحاور ذات التركيب الاعتيادى ، على انها عتبات ترتكز على ركائز مفصلية ، اذا ما كانت مركبة فى كراسى محاور دحراجية بواقع كرسى واحد لكل ركيزة ، أو بواقع كرسيين اذا ما كانت الركائز تضبط مواضعها ذاتيا . وفى حالة عدم مراعاة الشرط الاخير ، يوصى بحساب العمود وكأنه مرتكزا على كرسيين (بواقع كرسى واحد لكل ركيزة مع اهمال الكراسى الخارجية) .

واذا ما كان العمود او المحور مركبا من كراسى محاور انزلاق فانه فى حالة الطول غير الكبير للاخيرة ، تحسب ردود أفعال الارتكاز على انها مسلطة عند منتصف كل كرسى ؛ أما فى حالة كراسى محاور الانزلاق الطويلة وغير القابلة لضبط الموضع ذاتيا ، يجب اعتبار أن ردود افعال الارتكاز مؤثرة عند مسافة تساوى $\frac{١}{٣}$ - $\frac{١}{٤}$ طول كرسى المحور مقاسة من طرف الكرسى القريب من الباع .

وعادة تحسب الاعمدة المتعددة الركائز (المتعددة الباعات) حسب كل باع على حدة ، مع الاختبار التالى (وهذا الاختبار يكون ضروريا فى الحالات الهامة) ، لمقدار هبوط الركائز البينية .

وتعتبر مقاطع حسابية ، تلك المقاطع التى تؤثر عندها أقصى الاجهادات المقدرة ، والتى يمكن عندها ظهور تركيز فى الاجهادات .

الاحمال الحسابية . ان تحديد القوى المؤثرة على الاعمدة (المحاور) من وسائل نقل الحركة التى تعرضنا لدراستها فى منهجنا هذا قد عرضناه من فصول الكتاب المعينة . وفى الحالات الحسابية الاخرى يلزم اعتبار القوى التى تتلقاها الاجزاء المركبة على الاعمدة والمحاور سواء اكانت قوى للقطع أعمدة ادارة ماكينات قطع المعادن) ، أو شد الحبال (اعمدة ومحاور بكرات ووحدات مرفاعات البكرات) الخ . وطرق تعيين هذه الاحمال واردة فى المناهج الخاصة (" ماكينات قطع المعادن " ، و " ماكينات رفع الاثقال " ... الخ) .

وفى مرحلة الحسابات الابتدائية ، تحدد أبعاد الاعمدة (المحاور) حسب الحمل الاكبر الذى يمكن ان يظهر فى ظروف الاستخدام ، مع أخذ التأثيرات الديناميكية فى الاعتبار .

وعند تقييم المتانة الكلالية من اعتبار معاملات الامان المناسبة ،

تجرى حسابات المراجعة من اعتبار عدم ثبات نظام التحميل .

ومن الممكن فى كثير من الحالات اهمال تأثير الوزن الذاتى للعمود ووزن الاجزاء المركبة عليه، ومقدار العزم الناتج عن قوى الاحتكاك فى الركائز .

وبما ان طابع توزيع الحمل على الاسطح الحاملة كثيرا ما يكون غير معروف، يؤخذ الحمل الحسابى على أنه موزع توزيعا منتظما ، وغالبا ما يؤخذ مركزا ومسلطا على المقطع الاوسط - حسب عرض الجزء المركب .

الحساب حسب الاجهادات المقدرة (الحساب الابتدائى). ان الرسم التخطيطى الحسابى يعطى الفرصة فى تعيين الابعاد الضرورية بواسطة صيغ معلومة من منهج " مقاومة المواد "، مع القيم المختارة للاجهادات المسموح بها للمادة المعينة. ويعتبر هذا الحساب حسابا ابتدائيا .

والحالة الاغلب شيوعا هى تحميل العمود فى ان واحد بعزوم لى M_t ، وعزوم ثنى M .

وفى بعض الاحيان يمكن ان تكون الاعمدة فى بعض قطاعاتها محملة تحميلا اضافيا بقوة محورية - شادة او ضاغطة، ولكن الاجهادات التى بيد ان اجهادات الشد (الضغط) الناشئة عنها تكون قليلة فى المعتاد اذا ما قورنت باجهادات الثنى ولذا فيمكن اهمالها .

واذا ما أثرت على العمود احمال تقع فى مستويات مختلفة، فيجب عندئذ تحليلها الى مركباتها من مستويين متعامدين على بعضهما البعض، بحيث تكون مشتركة بين كل الاحمال، ثم تحدد ردود فعل الارتكاز وفق القواعد المعروفة.

وترسم المنحنيات البيانية لتوزيع عزوم الثنى فى كل من مستويى تحليل الاحمال، ثم ترسم المنحنيات الاجمالية (المنحنيات المحصلة)، عن طريق الجمع الهندسى لعزوم الثنى

$$M = \sqrt{M_h^2 + M_v^2}$$

وعندما نحصل على منحنى توزيع عزوم اللى من المقاطع المعنية ، يمكن تعيين العزوم المكافئة. وفى مقاطع المحاور غير الدوارة وعند تسليط حمل ثابت فى المقدار والاتجاه، تظهر اجهادات ثنى ثابتة. اما بالنسبة للاعمدة والمحاور الدوارة، ففى مقاطعها تكون هذه الاجهادات متغيرة وفق دورة متماثلة - اذا ما كان اتجاه الجهود المتسببة فى ظهور الاجهادات يتغير بالنسبة للعمود او المحاور، او ان تكون الاجهادات ثابتة - اذا لم تغير الاحمال

اتجاهها بالنسبة للعمود (المحور) الدوار .
وعزم اللى كثيرا ما يغير مقداره فقط (وبدون تغيير اشارته) أو أن يبقى ثابتا؛ وتبعا لذلك تتغير الاجهادات المماسية.
وبالنسبة للمقاطع الحسابية تكون العزوم المكافئة

$$M_{red} = \sqrt{M^2 + M_t^2}.$$

وأقطار العمود من المقاطع الحسابية تتحدد من شرط المتانة؛

$$M_{red} = W[\sigma]_{bend} \tag{23.1}$$

وعزم مقاومة المقطع فى حالة الثنى $W = 0.1d^3$ بالنسبة للعمود ذى المقطع الدائرى المصمت ، $W = 0.1(1 - \beta^4)d^3$ بالنسبة للعمود ذى المقطع الدائرى الاجوف؛ وفى هذا تكون β هى النسبة بين القطر الداخلى والخارجى للعمود .
وقيم الاجهادات المسموح بها $[\sigma]_{bend}$ اللازمة للحسابات الابتدائية للأعمدة والمحاور تختلف بالنسبة للمواد المختلفة تبعا لنظام الاستخدام. وهنا نوجد الانظمة التالية :
النظام الاول : عندما تكون الاجهادات الناتجة عن الحمل ثابتة فى المقدار والاتجاه؛
النظام الثانى : ويتصف باجهادات تتغير وفق دورة نابضة؛
النظام الثالث : وفيه يكون طابع تغير الاجهادات وفق دورة متماثلة .
وقيم الاجهادات المسموح بها بالنسبة لانواع الصلب الكربونى وصلب السبائك تتفق مع التناسبات التالية حسب انظمة الحسابات الابتدائية :

$$[\sigma]_{bend\ I} : [\sigma]_{bend\ II} : [\sigma]_{bend\ III} = 3.8 : 1.7 : 1,$$

علما بأن

$$[\sigma]_{bend_I} \approx 0.33\sigma_u$$

وتختار قيمة $[\sigma]_{bend}$ للحساب الابتداء لقطر العمود حسب النظام الثالث III .
وهكذا ، فمن شرط المتانة يكون قطر العمود المصمت

$$d = \sqrt[3]{\frac{\sqrt{M^2 + M_t^2}}{0.1\,[\sigma]_{bend\ III}}}\ \text{cm} \tag{23.2}$$

أما قطر العمود الاجوف فيكون

$$d = \sqrt[3]{\frac{\sqrt{M^2 + M_t^2}}{0.1(1 - \beta^4)\, [\sigma]_{bend\ III}}} \text{ cm} \tag{23.3}$$

ويمكن أن يجرى الحساب الابتدائى لاعمدة بعض التركيبات مع اعتبار مقدار عزم اللى المنقول فقط، اذا ما كانت عزوم الثنى العاملة تؤدى لظهور اجهادات ضئيلة فى مقاطعه. ويظهر هذا الاحتمال احيانا عند حساب الاعمدة سريعة الدوران الخاصة بنقل قدرات صغيرة نسبيا.

ويجرى حساب المتانة فى تلك الحالات مع استخدام قيم مخفضة للاجهادات المسموح بها فى حالات اللى. ويكون شرط المتانة

$$M_t = W_t\, [\tau]_t \tag{23.4}$$

وعزم مقاومة مقطع العمود فى حالة اللى $W_t = 0.2\, d^3$ بالنسبة للعمود ذى المقطع الدائرى المصمت، و $W_t = 0.2(1 - \beta^4)d^3$ بالنسبة للعمود ذى المقطع الدائرى الاجوف، حيث β هى النسبة الموضحة اعلاه (أنظر ص ٤٣٣). وحيث أن

$$M_t = 97{,}400\, \frac{N}{n} \text{ kgf} \cdot \text{cm}$$

حيث N ـ القدرة الحسابية بالكيلووات، فانه بالنسبة للعمود المصمت يكون القطر d

$$d = A \sqrt[3]{\frac{N}{n}} \text{ cm} \tag{23.5}$$

حيث A ـ معامل يعتمد على مقدار الاجهاد المسموح به فى حالة اللى $[\tau]_t$. فمثلا بالنسبة للصلب Ст. 4 ، عندما تكون $[\tau]_t = 490 \div 120 \text{ kgf/cm}^2$ ، فان تكون $A = 9 \div 14.4$.

ويمكن اجراء الحساب الابتدائى للمحاور حسب الصيغتين (33.2) و (23.3) بفرض أن $M_t = 0$.

وتعتبر الابعاد الناتجة من الحساب الابتدائى هى الابعاد الاولية عند تصميم الجزء مع الاخذ فى الاعتبار للمتطلبات التكنولوجية ومتطلبات التركيب وغيرها.

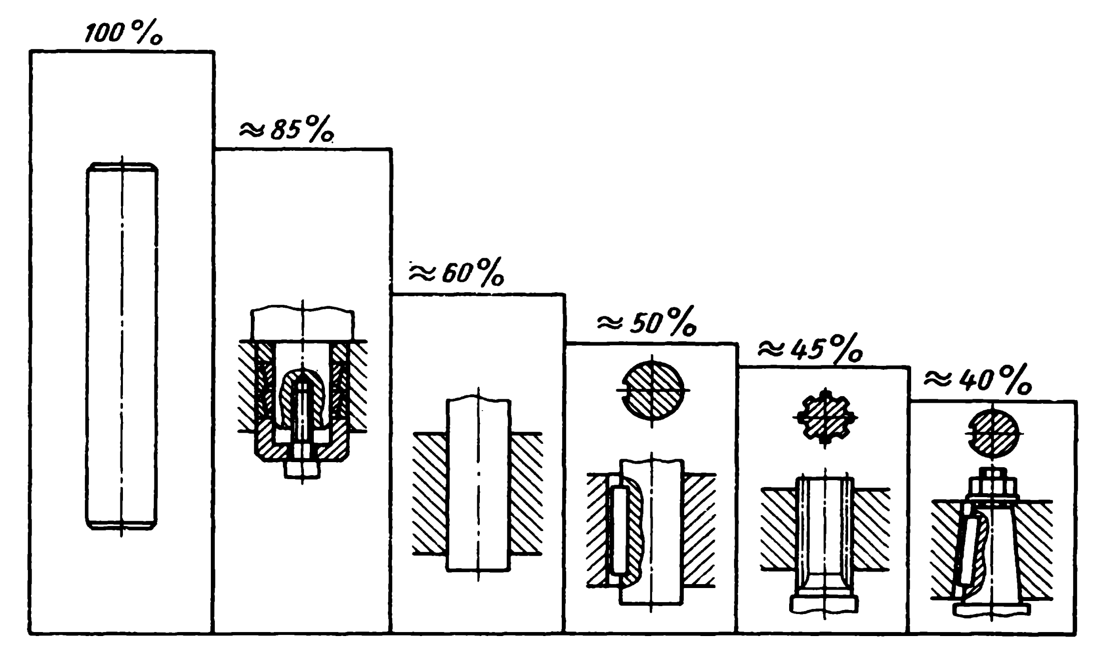
وتصميم العمود (المحور) يتحدد قبل كل شئ بالطريقة المختارة لتوصيله بسرّات العجلات المركبة عليه وكذلك البكرات والاقراص، ووفق تصميم الركائز ايضا.

وعند اختبار طريقة توصيل هذه الاجزاء، يلزم اجراء تقييم شامل لكل الحلول التصميمية الممكنة. وتحليل الخصائص التى تتمتع بها اكثر الوصلات انتشارا (ص ٣٩٩)، يتيح الفرصة أمام

اظهار امكانية استخدامها فى كل حالة معينة على حدة.

ويعطى الشكل ٢٣-٢١ تصورا عن درجة تخفيض حد الاطاقة فى حالة اللى T_{-1} لعمود نتيجة لاستخدام مختلف طرائق توصيله بالسرّة ، وذلك بالمقارنة مع عينة ملساء مماثلة.

وأبعاد القطاعات الحاملة (وبالدرجة الرئيسية طولها) فى العمود ، والعناصر الواصلة (الخوابير، والاسنان، وغيرها) فتحدد بالحسابات.



الشكل ٢٣ - ٢١

حساب الوصلات الاحتكاكية . يفهم من متانة هذه الوصلات، مقدرتها على نقل الاحمال - عزم اللى ، والقوة المحورية أو القوة المحورية وعزم اللى معا ، تلك الاحمال التى تسعى لفصل أحد الاجزاء فى الوصلة عن الجزء الاخر.

ومقدرة الحمل فى الوصلة المكبوسة تعتمد قبل كل شىء على مقدار التداخل δ_y ، أى الفرق بين قطرى العمود وثقبه فى الجزء المركب عليه، ويتحدد هذا التداخل باختيار التوافق الموصف قياسيا .

وفى الوصلة المجمعة بالتداخل (الشكل ٢٣-٢٢) ، نتيجة للتشويه المرن بين الجزئين المقترنين - أى اتساع الثقب، وانكماش العمود الداخل فيه - يتكون على سطح التلامس بينهما ضغط نوعى p . واذا اعطيت ابعاد الجزئين وخصائص مادتيهما الميكانيكية، فان مقدار الضغط النوعى p - يعين من الصيغة التالية *

---

* يرد استنتاج المعادلتين (23.6)، (23.14) فى منهج " مقاومة المواد " عند حساب الاجزاء الاسطوانية ، الواقعة تحت تأثير حمل متماثل بالنسبة للمحور .

$$p = \frac{\delta \times 10^{-3}}{d\left(\frac{c_1}{E_1} + \frac{c_2}{E_2}\right)} \text{ kgf/mm}^2 \qquad (23.6)$$

حيث δ - التداخل الحسابى بالميكرون ؛

d - القطر المقدر للاسطح المتقارنة بالمم ؛

E_1 ، E_2 - معامل المرونة الطولى لمادتى العمود والثقب المركب فيه بالكجم/مم٢ ؛

$c_1 = \frac{d^2 + d_1^2}{d^2 - d_1^2} - \mu_1$ ؛ $c_2 = \frac{d_2^2 + d^2}{d_2^2 - d^2} + \mu_2$ - معاملان

تتحدد قيمتاهما من حل معادلة ليامى للاسطوانات السميكة الجدران والمشوهة بشكل متماثل بالنسبة لمحورها .

μ_1 ، μ_2 - قيمتا معامل بواسون ؛ وللصلب تكون $\mu \approx$ ٠ر٣ ، وللحديد الزهر $\mu \approx$ ٢٥ر٠ ؛ أما قيمتى القطرين d_1 ، d_2 فمبينتان على الشكل ٢٣ - ٢٢ .

وعند تحميل الوصلة بحمل محورى مقداره P_a ، يعمل على احداث ازاحة محورية فى أحد الاجزاء بالنسبة للجزء الاخر، تظهر على الاسطح المتلامسة قوى احتكاك تعيق حدوث هذه الازاحة. ويمكن ضمان متانة الوصلة عند مراعاة الشرط

$$P_a \leqslant \pi d l p f, \qquad (23.7)$$

حيث l - طول القطاع الذى يركب فيه الجزء فى الوصلة بالمم ؛

f - معامل الاحتكاك .

وعزم اللى الذى يمكن أن تتحمله الوصلة هو

$$M_t \leqslant \pi d l p f \frac{d}{2} = \frac{\pi}{2} d^2 l p f \qquad (23.8)$$

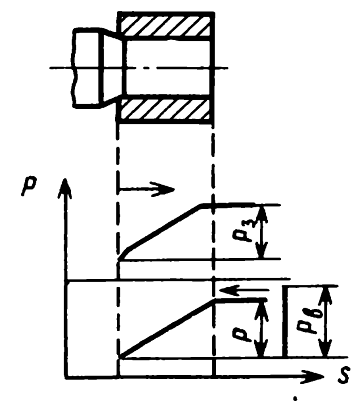
الشكل ٢٣ - ٢٢

واذا كانت الوصلة تنقل عزم لى M_t ، وكانت معرضة فى نفس الوقت لتأثير قوة محورية P_a ، فان شرط المتانة يأخذ الشكل :

$$\sqrt{\left(\frac{2M_t}{d}\right)^2 + P_a^2} \leqslant \pi d l p f \qquad (23.9)$$

وقيمة معامل الاحتكاك فى الوصلات المكبوسة يعتمد على الكثير من العوامل : مادة الجزئين المتقارنين ، طريقة تشغيل اسطح تركيب الاجزاء ونقاوة هذه الاسطح ، التزييت، اتجاه الازاحة (محورية أم دائرية) ، العملية الجارية (تركيب بالكبس او فك بالكبس) ، مقدار ضغط التلامس.

وحيث ان معامل الاحتكاك فى حالة السكون يكون اكبر من معامل احتكاك الحركة، فان القوة اللازمة للفك بالكبس تكون اكبر فى لحظة بداية نفس العملية ($P_{out} > P$) ،من قيمتها اثناء الحركة (الشكل ٢٣ - ٢٣).



الشكل ٢٣ - ٢٣

وفى الحسابات تستخدم القيم المتوسطة لمعامل الاحتكاك بالنسبة للاجزاء المصنوعة من الصلب والحديد الزهر، والتى عادة ما تستخدم لعمليات الفك بالكبس اثناء استقرار عملية الازاحة : $f \approx 0.08$ للتركيب تحت المكبس، و $f \approx 0,14$ لحالة التركيب مع تسخين الجزء المثقوب او تبريد الجزء الداخل فيه .

وتحدد القيمة الحسابية للتداخل δ من الصيغتين (23.6) و(23.7) ؛ (23.6) و(23.8) ؛ (23.6) و (23.9) للحالات التالية :

التحميل المحورى

$$\delta = \frac{P_a}{\pi l f}\left(\frac{c_1}{E_1} + \frac{c_2}{E_2}\right) 10^3 \text{ microns;} \tag{23.10}$$

التحميل بعزم لىّ

$$\delta = \frac{2M_t}{\pi d l f}\left(\frac{c_1}{E_1} + \frac{c_2}{E_2}\right) 10^3 \text{ microns.} \tag{23.11}$$

التأثير المزدوج بين عزم اللىّ والقوة المحورية

$$\delta = \frac{\sqrt{\left(\frac{2M_t}{d}\right)^2 + P_a^2}}{\pi l f}\left(\frac{c_1}{E_1} + \frac{c_2}{E_2}\right) 10^3 \text{ microns.} \tag{23.12}$$

وعند التجميع بالكبس تتسوى جزئيا عدم الانتظامات فى السطحين وينتج عن ذلك انخفاض التداخل الفعلى عن مقداره الابتدائى . ولتعويض هذا الانخفاض يجب أن يكون تداخل التوافق اكبر من القيمة الحسابية

$$\delta_y = \delta + u' \tag{23.13}$$

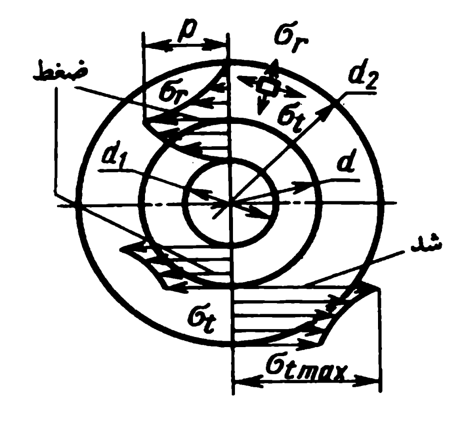
حيث $u \approx 1.2(R_{z_1} + R_{z_2})$ - مقدار يقيم الاستواء الواقع فى عدم الانتظام أثناء التجميع بالكبس .

وهنا R_{z_1} ، R_{z_2} - ارتفاعا عدم الانتظام فى السطحين المقترنين بالمكرونات ، ويختاران تبعا لدرجة نقاوة السطح ووفقا للمواصفات القياسية.

وبيانات الابحاث توضح أن الأسطح ذات عدم الانتظام القليل تعطى وصلات مكبوسة متجانسة وتتميز بكفاءة اعلى .

وحسب القيمة δ_y ، يختار التوافق القياسى بالكبس الذى تتساوى فيه أقل قيمة للتداخل مع المقدار δ_y ،أو تزيد قليلا منه .

وفى التوافقات بالكبس تظهر فى عناصر الوصلة اجهادات كبيرة يمكنها فى حالة قيم التداخل الكبيرة أن تؤدى الى تحطم الاجزاء. وطابع تغير الاجهادات المماسية σ_t ، والقطرية σ_r سواء بالنسبة للاجزاء الحاوية للثقوب او الاجزاء المركبة بها ، موضح فى الشكل ٢٣-٢٤.



الشكل ٢٣ - ٢٤

والاجهادات الكبرى تؤثر على الاسطح الداخلية للجزء المحيط، حيث

$$\sigma_{t\ max} = p \frac{d_2^2 + d^2}{d_2^2 - d^2}; \qquad (23.14)$$

$$\sigma_r = -p.$$

ان ظهور التشوهات اللدنة على السطح الداخلى للاجزاء ، لا يجب اعتباره غير مرغوب فيه فى كل الحالات ؛ اذ ان الوصلات المأمونة يمكن التوصل اليها أيضا مع وجود منطقة حلقية لدنة من الجزء المحيط.

وعند نقل عزم اللى M_t ، تحدد مقدرة الحمل للوصلة المتكونة بمساعدة مجموعة واحدة من الحلقات الزنبركية الشادة، بنفس الطريقة المتبعة فى الوصلة المكبوسة بواسطة الصيغة (23.8) .

والجهد المحورى ، اللازم لشد الوصلة (لاحكامها)

$$P_a \approx p\pi dl\,(\tan\alpha + kf) = \frac{2M_t}{d}\left(\frac{\tan\alpha}{f} + k\right) \qquad (23.15)$$

وفى هذه الحسابات يكون معامل الاحتكاك $f = 0.1 \div 0.16$ ؛ $k = 2$ بالنسبة للتصاميم الموضحة فى الشكل (٢٣ - ١٠ ،ب ، د) ؛ $k = 1$ ، بالنسبة للتصاميم المبينة فى الشكل (٢٣ - ١٠ ، جـ) ؛ والابعاد الداخلة فى الصيغتين (23.8) و (23.15) مبينة فى الرسم (٢٣ - ١٠ ، أ).

وعند استخدام عدة مجموعات من الحلقات واحكامها من جهة واحدة (الشكل ٢٣ - ١٠ ، ب) ، فان القوة المحورية المنقولة من مجموعة واحدة إلى المجموعة الاخرى ، تقل تدريجيا بالمقدار اللازم للتغلب

على قوى الاحتكاك والتشويه المرن للحلقات . ويرتبط بهذا تقليل قيم الضغوط القطرية p على الاسطح المعنية.

وطابع تغير القوى المحورية يتمشى بالتقريب مع قانون المتوالية الهندسية، مع مقام الكسر

$$c = \frac{\tan \alpha}{\tan \alpha + 2f}$$

وفى هذا يكون عزم اللى المنقول بعدد n من ازواج الحلقات

$$M_{tn} = M_{t_1} \frac{(c^n - 1)}{(c - 1)},$$

حيث M_{t_1} - العزم المنقول بالمجموعة الأولى من الحلقات [محسوبة من رأس المسمار (أو صامولته)] .

وعندما تكون $\alpha = 17°$ و $f = 0.15$، يكون العزم المنقول بالمجموعة الثانية $M_{t_2} \approx 0.5 M_{t_1}$، أما $M_{t_3} \approx 0.25 M_{t_1}$ وهكذا .

ويظهر من ذلك انه لا ينصح باستخدام اكثر من ثلاث مجموعات من الحلقات.

وعمليا تتلخص مهمة حساب هذه الوصلات فى اختيار ابعاد للاجزاء ، وتعيين عدد مجموعات الحلقات وعزم (جهد) شدها . ويعثر على الابعاد من الجداول (انظر المراجع الخاصة) تبعا للعزم المنقول .

حساب وصلات التعشيق . الابعاد الاساسية لوصلات الخوابير والوصلات المسننة (ذات الشقوب) خاضعة للتوصيف القياسى . لذا فان حسابها فى العادة ينحصر فى تعيين الطول الحسابى للخابور l والاسنان عند اختيار الاجهادات المسموح بها او فى اختيار الاجهادات التى تظهر فى الاسطح العاملة او فى المقاطع الخطرة ، عندما تكون ابعاد الوصلة معلومة.

وبتقييد اجهاد السحق فى اسطح التلامس للحواف الجانبية لخابور العمود والسرّة، فى حالة استخدام وصلة الخابور غير الاجهادلية (الشكل ٢٣ - ٢٥)، أو على الاسطح الجانبية للاسنان والسرّة من الوصلة المسننة (الشكل ٢٣ - ١٤، ٢٣ - ١٥)، يمكن تصوير شرط المتانة على الشكل التالى

$$M_t \leqslant F[\sigma]_{com} R\psi \qquad (23.16)$$

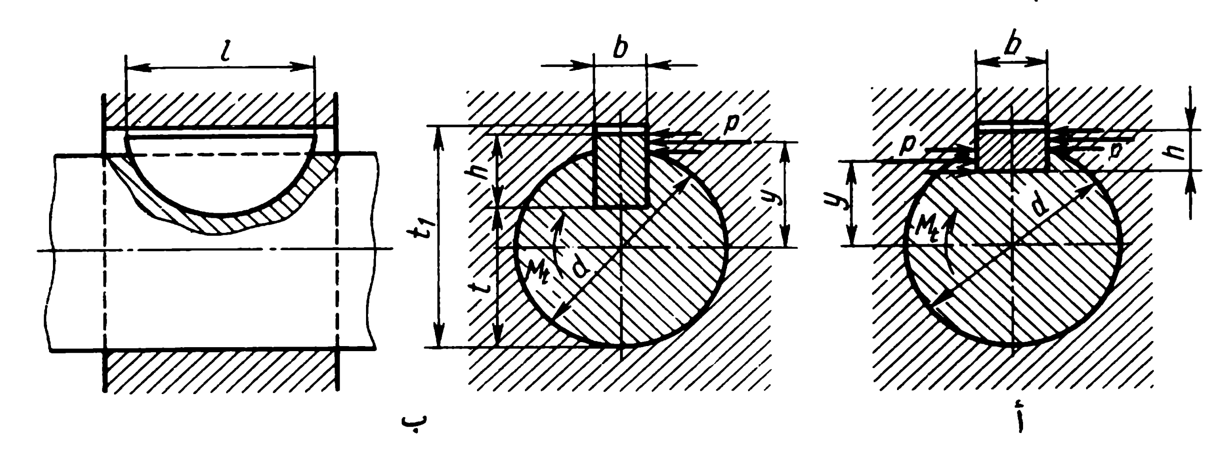
حيث F - مسقط سطح تلامس الخابور (السنة)، على مستواه القطرى المتوسط ؛

R - نصف القطر الاصطلاحى لتسليط الحمل ؛

$[\sigma]_{com}$ - اجهاد السحق المسموح به ؛

ψ - معامل يأخذ فى الاعتبار عدم انتظام توزيع الحمل على أسطح التلامس ؛

$\psi = 1$ لوصلات الخوابير ؛ $\psi = 0.7 \div 0.8$ للوصلات المسننة.



الشكل ٢٣ - ٢٥

والمساحة F ونصف القطر R يعتمدان على تركيب الوصلة : فللوصلات ذات الخوابير المنشورية (الشكل ٢٣ - ٢٥ ، أ)

$$F \approx 0.5\, hl, \quad R \approx 0,5\, d;$$

وللوصلات ذات الخوابير نصف الدائرية (الشكل ٢٣ - ٢٥، ب)

$$F \approx (t + h - d)l, \quad R \approx 0.5\, d:$$

وللوصلات المسننة (الشكل ٢٣ - ١٤، ٢٣ - ١٥) $F \approx zhl$ ،

$R = \frac{D_b + d_a}{4}$ للاسنان المستقيمة الجوانب ؛

$R = \frac{d_p}{2} = \frac{mz}{2}$ للاسنان الانفوليوتية .

وفى هذه الصيغ :

h - ارتفاع سطح التلامس بين الاسنان المتقارنة ، مقاسا على طول القطر ؛

z - عدد الأسنان ؛

m - الموديول .

ومن الحساب التصميمى ، من الصيغة (23.16)، نحصل على الطول الحسابى للخابور المنشورى

$$l \geqslant \frac{4M_t}{hd\,[\sigma]_{com}} \tag{23.17}$$

ووفق الرسم الحسابى (الشكل ٢٣ - ٢٥ ،أ) ، يعتبر القص هو الصورة المبدئية المحتملة لتحطيم الخابور . ولشرط المتانة الصورة التالية :

أو

$$P \leqslant bl[\tau]_s$$

$$l \geqslant \frac{2M_t}{bd[\tau]_s}$$

حيث $[\tau]_s$ - جهد القص المسموح به .

ويجب اخذ القيمة الاكبر للطول l المحسوبة من كل الصيغتين (23.17)، (23.18) . واذا ما اتضح أن الطول l اكبر من طول السرّة فيجب فى هذه الحالة زيادة اما طول السرة، او عدد الخوابير (وفى العادة لا يزيد عددها عن اثنين) . وفى حالة استخدام خابورين ، يجب أن يكون طولهما الكلى اكبر بنسبة ٢٥ ٪ عن الطول الحسابى وذلك بسبب عدم انتظام توزيع العزم المنقول بينهما .

ومن الشرط (23.16) ، يكون الطول الحسابى للوصلة المسننة

$$l \geqslant \frac{M_t}{\psi zhR\,[\sigma]_{com}} \tag{23.19}$$

وقيم الاجهادات المسموح بها واردة فى المراجع الاعلامية؛ وهى تختلف تبعا لنوع الوصلة، وظروف الاستخدام، والمعاملات الحرارية للاسطح العاملة للاسنان . فمثلا بالنسبة لوصلات الخوابير غير المتحركة، فى حالة الحمل الهادئ تكون $[\sigma]_{com} \leqslant 1500$ kgf/cm² للسرات المصنوعة من الصلب، و $[\sigma]_{com} \leqslant 800$ kgf/cm² للسرات المصنوعة من الحديد الزهر. أما بالنسبة للوصلات المتحركة، فبغرض تلافى العض والزرجنة) تؤخذ $[\sigma]_{com} \leqslant 300$ kgf/cm² للسرات المصنوعة من الصلب ، وللوصلات المسننة غير المتحركة مع وجود ظروف طيبة للاستخدام $[\sigma]_{com} = 800 \div 1200$ kgf/cm² اذا لم يكن هناك معاملة حرارية ، $[\sigma]_{com} = 1200 \div 2000$ kgf/cm² للوصلات المعاملة حراريا . اما بالنسبة للوصلات المتحركة فبهدف تلافى التآكل السريع بالاحتكاك فى الاسنان، وأحيانا العض أيضا ، تخفض بشدة قيم $[\sigma]_{com}$. فللوصلات المحملة مع وجود ظروف ملائمة الاستخدام $[\sigma]_{com} = 100 \div 200$ kgf/cm² أما الظروف الصعبة * فتؤخذ $[\sigma]_{com} = 30 \div 100$ kgf/cm² ، وذلك للاسنان التى تعرضت اسطحها العاملة للمعاملة الحرارية. وتعتبر زيادة صلادة الاسنان وسيلة فعالة لزيادة مقاومة الوصلات المسننة للتآكل بالاحتكاك (بمقدار ٣ - ٥ر٣ مرة) . وزيادة الصلادة يتم التوصل اليها بالمعاملة الحرارية المناسبة (بالتقسية ، او المعاملة الاسمنتية).

---

* الظروف الصعبة فى التشغيل تتصف بالخصائص التالية: تغير الحمل فى الاشارة مع وجود صدمات فى الاتجاهين ؛ وجود اهتزازات عالية التردد وكبيرة السعة ؛ ظروف التزييت رديئة (بالنسبة للوصلات المتحركة) . . الخ .

وقطر التيلة (الشكل ٢٣ - ١٧) يمكن ايجاده من شرط عمله تحت تأثير القص

$$\frac{2M_t}{D} = 2\,\frac{\pi d^2}{4}\,[\tau]_s,$$

حيث M_t - عزم اللى المنقول بوصلة التيلة. ومن هنا :

$$d = \sqrt{\frac{4}{\pi}\cdot\frac{M_t}{D[\tau]_s}}. \qquad (23.20)$$

وبالنسبة للتيلات المخروطية يكون d هو القطر المتوسط .
والقيمة المفضلة $[\tau]_s \leqslant 800$ kgf/cm² .

تعيين معامل الامان (الحساب الاختبارى) . بعد اجراء الحسابات الابتدائية، والتجهيز التصميمى للاعمدة (المحاور) ، تجرى الحسابات الاختبارية بغية اختبار الشرط (2.2) ، الذى بموجبه يكون $n \geqslant [n]$.
والقيم الحسابية لمعاملات الامان بالنسبة للمقاطع الخطرة فى العمود ، تحسب من الصيغة (2.24) مع استخدام العلاقتين (2.20) و (2.21) .
والقيم σ_a ، τ_a ، σ_m ، τ_m تحدد على الوجه التالى . عند تغير الاجهادات حسب قانون التماثل

$$\sigma_m = 0;\ \ \sigma_a = \sigma_{max} = \frac{M}{W_{net}}.$$

$$\tau_m = 0;\ \ \tau_a = \tau_{max} = \frac{M_t}{W_{t\,net}},$$

أما بالنسبة للدورة النبضية فان

$$\sigma_m = \sigma_a = \frac{\sigma_{max}}{2},\ \tau_a = \tau_m = \frac{\tau_{max}}{2},$$

حيث

$$\sigma_{max} = \frac{M}{W_{net}} \quad \tau_{max} = \frac{M_t}{W_{t\,net}}.$$

وحيث أنه بالنسبة للمحاور $\tau = 0$ ، فان $n = n_\sigma$.
وبالنسبة للمحاور الدوارة تتغير الاجهادات حسب قانون التماثل ($\sigma_m = 0$) ويصبح للصيغة (2.20) على الشكل التالى

$$n = \frac{\sigma_{-1}}{(k_\sigma)_D\,\sigma_a} \qquad (23.21)$$

أما بالنسبة للمحاور الثابتة ، فى حالة الدورة النابضة فتأخذ الصيغة (2.20) الشكل التالى :

$$n = \frac{2\sigma_{-1}}{\sigma_{max}[(k_\sigma)_D + \psi_\sigma]} . \qquad (23.22)$$

وتحتوى المراجع الاعلامية على قيم المعاملات $(k_\sigma)_D$ ، ψ_σ ، ψ_τ ، وكذلك الصيغ التقريبية لحساب W_{net} ، $W_{t\,net}$.

ومعامل الامان المسموح به $[n]$ يمكن حسابه من الصيغة (2.26) وبالنسبة للاعمدة من الصلب $(S_1 \approx 1.1; S_2 \approx 1.2)$ ($k = 1.2 \div 1.3$) يمكن اعتبار القيمة $[n]_{min} = 1.5 \div 2.0$ كادنى قيمة مسموح بها لمعامل الامان، اذا ما كان الحمل والاجهادات محددة تحديدا دقيقا بدرجة كافية. وفى الظروف الاخرى يؤخذ $n > 2.0$ حسب درجة الاهمية فى التصميم ، ومدى دقة البيانات الحسابية، الخ .

واذا اتضح من نتيجة الحساب الاختبارى أن الشرط $n \geqslant [n]$ غير مستوفى ، يجب عندئذ تغيير التصميم والعثور على شكل افضل للعمود (المحور) ، من المقطع الخطر أو للجزء المركب عليه، وذلك بغرض التوصل لتوزيع اكثر انتظاما للضغوط (الاجهادات) ، ولتقليل قيمة المعامل k_σ وكذلك اللجوء الى زيادة المتانة بالطرق التكنولوجية بغرض تخفيض الحساسية نحو تركيز الاجهادات او لرفع مستوى المواصفات الميكانيكية للمادة، وزيادة ابعاد الجزء فى المقطع الحسابى بهدف تقليل قيمة σ_{max} . . . الخ .

واختيار هذا او ذاك من الحلول يحتاج الى برهنة اقتصادية وفنية.

وبعد ذلك يحدد من جديد معامل الامان . وبعد تكرار التقريب ، يحدد التمشى المطلوب بين قيمتى معامل الامان الحسابية والمسموح بها .

حساب الجساءة والاهتزازات

تشويه الانحناء فى المحاور والاعمدة . يكمن الغرض من حساب فى تعيين مقدار الانحناء وزوايا الميل فى الخط المرن لمحور الجزء عند مقاطع معينة. ويجرى هذا الحساب بطرائق معروفة من منهج " مقاومة المواد ".

وبهدف تبسيط حسابات تعيين الازاحات فى عمود ذى شكل مدرج ، يسمح فى بعض الاحيان باجراء الحسابات مع استبدال هذا العمود بآخر مكافىء له تقريبا فى الجساءة وذى مقطع ثابت القطر (ويقدر الخطأ بحوالى ١٠ - ٢٠ ٪ فى اتجاه تخفيض القيم الحسابية عن القيم الحقيقية) .

وفى اغلب الاحوال ، يكون من الصعوبة بمكان العثور على القيم الدقيقة للازاحات نتيجة لتأثير جساءة الاجسام التى تركب فيها ركائز العمود او المحور، ونتيجة للخلوصات، والشكل الموضعى للعمود وما الى ذلك. ولهذا السبب، يمكن الحكم على درجة الجساءة فقط بمقارنة القيم الحسابية مع القيم المسموح بها للانحناءات وزوايا الميل فى الخط المرن ، التى يحصل عليها نتيجة لمراقبة التصاميم العاملة بشكل طيب . والوضع الاخير قد أدى بالنسبة لمختلف الماكينات الى تحديد قيم الازاحات القصوى المسموح بها للاعمدة (المحاور) ، تبعا للمتطلبات التى تفرضها ظروف عمل الوحدة الطبيعية من التركيبة المعنية. فمثلا يجرى فى بعض مصانع بناء ماكينات التشغيل اخذ قيمة اكبر انحناء فى العمود على انها مساوية ١٠ر٠ من أقل موديول لعجلة مسننة مركبة على نفس العمود . اما بالنسبة للمحركات الكهربية فان اكبر قيمة للانحناء فى العمود فتعتمد على القيمة المتوسطة للخلوص الهوائى (Air gap) δ ؛ وبالنسبة لمحركات التوافق فتوجد قاعدة $\gamma_{max} \leqslant 0.1\ \delta$ ، وما الى ذلك.

وفى بناء الماكينات العام، تنتشر بتوسع القواعد التالية : اكبر انحناء فى العمود (المحور) يجب الا يزيد عن ٠٠٠٢ر٠ من المسافة بين الركيزتين ؛ واكبر قيمة لزاوية الميل فى ركيزة الانزلاق تساوى ٠٠١ر٠ راديان (٣' ، ٥) ؛ وبالنسبة لكرسى المحور ذى الكريات القطرى يجب الا تزيد زاوية انحراف الحلقات عن ٠٠٨ر٠ راديان ، وبالنسبة لكرسى المحور الكروى عن ٠٥ر٠ راديان . . . الخ.

ويعتمد سهم الانحناء بوجه عام على الحمل ، وعلى موضع تسليطه فى الباع. وبغية تقليل الانحناءات يجب :

١ - وضع الاجزاء على العمود بأقرب ما يمكن من الركائز ؛

٢ - استخدام تراكيب مخففة للبكرات والعجلات المسننة وغيرها من الاجزاء المركبة على المحاور او الاعمدة ؛

٣ - موازنة هذه الاجزاء ؛ أما بالنسبة للتراكيب الدوارة بسرعات عالية فيجب اتباع موازنة للاعمدة السريعة الدوران مع الاجزاء المركبة عليها.

تشوهات اللى فى الاعمدة . عند حساب الاعمدة على تشويه اللى ، يجرى تقييم جساءتها حسب زاوية اللى φ أو حسب معامل الجساءة C_t .

واذا ما اعتبرنا انه فى حدود كل درجة من درجات العمود المدرج يبقى عزم اللى M_t ثابتا ، فانه بالنسبة للعمود المكون من عدد n من القطاعات الاسطوانية :

$$\varphi = \sum_{i=1}^{n} \frac{M_{ti} l_i}{G J_{ti}} , \qquad (23.23)$$

حيث φ - زاوية اللى بالراديان ؛

l_i - طول القطاع i بالسم ؛

I_{ti} - عزم القصور الذاتى فى حالة اللى للقطاع i بالسم[٤] ؛

G - معامل المرونة فى حالة اللى بالكجم/سم[٢] .

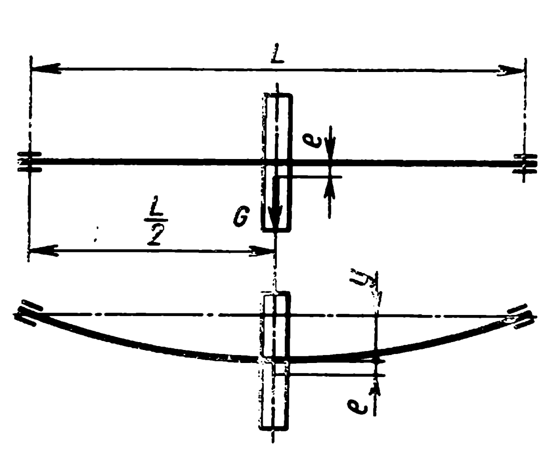
ويتحدد معامل الجساءة c_t من الصيغة (2.36) .

والصيغة (23.23) يمكن استخدامها فى الحالات التى يوجد فيها فى الجزء المراد حسابه من العمود ، قطاعات مخروطية قصيرة، وكذلك ثقوب قطرية باقطار صغيرة، ومجارى خابور منفردة وغيرها التى لا تدخل فى الحساب تبعا لذلك.

ومعدلات زوايا اللى المسموح بها للاعمدة تحدد تفاضليا لبعض تصاميم الماكينات.

وثمة قاعدة يجرى اتباعها بالنسبة لاعمدة دوران ماكينات التثقيب: زاوية اللى فى حالة اكبر عزم لى منقول يجب الا تزيد عن ١° فى طول $l = (20 \div 25)\,d$ ، حيث d - القطر الخارجى للمحور.

وعند تصميم اليات تحريك المرفاعات القنطرية (bridge type)، يعتبر تحديد تشويه اللى لعمود الادارة العامل الحسابى الاساسى ؛ وزاوية اللى المسموح بها $\varphi \approx 0.25 \div 0.35°$ لكل متر من الطول .



الشكل ٢٣ - ٢٦

عدد اللفات (الدورات) الحرج للعمود.

ان حساب العمود على الاهتزازات العمودية على محوره تتلخص فى اختبار شرط عدم حدوث ظاهرة الرنين التى تزداد عندها سعة الاهتزازات زيادة كبيرة يمكنها أن تصل الى تلك القيم التى يتحطم عندها العمود . وتنشأ هذه الظاهرة عندما يدور العمود بعدد اللفات الحرج ، عندما ينطبق تردد تغير القوى الخارجية مع تردد الاهتزازات الذاتية للمجموعة. ويمكن أن يحدث الرنين أيضا عندما يكون مقدار تردد تغير القوى الخارجية مساويا لضعف او عدة اضعاف الاهتزازات الذاتية للمجموعة.

ولنفرض أن هناك عمودا (الشكل ٢٣ - ٣٦) مركب عليه بالتماثل بالنسبة لوضع ركيزتيه قرص وزنه G ، ينحرف مركز ثقله بالنسبة للمحور الهندسى للدوران بالمقدار e . وعند انتظام العمود مع القرص ينحنى العمود تحت تأثير قوة الطرد المركزى C .

وقوة الطرد المركزى $C = m\omega^2 (y + e)$. وبدون اعتبار تأثير الوزن الذاتى للمجموعة بالنسبة للرسم التخطيطى الحسابى المأخوذ (وهو مثل العتبة، المرتكزة ارتكازا جرا على ركيزتين ، يكون مقدار الانحناء

$$y = \frac{CL^3}{48\ EJ},$$

ومن هنا

$$C = \frac{48\ EJ}{L^3}\ y = ky,$$

حيث k ـ القوة التى تنتج وحدة الانحناء فى العمود (١ سم مثلا).

وعلى ذلك فان $m(y + e)\omega^2 = ky$ ،

$$y = \frac{e}{\frac{k}{m\omega^2} - 1} \qquad (23.24)$$

ومع زيادة السرعة الزاوية ω ، يزيد مقدار الانحناء y ، وعندما تكون $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$ تصل y الى ∞ ، وهذا يعنى أنه عند هذه السرعة الزاوية يجب ان يتحطم العمود . والسرعة الزاوية التى يزيد عند تطبيقها الانحناء بالاحدود تسمى بالسرعة الحرجة . وبناء على ذلك، فان

$$\omega_{cr} = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

وحيث أن $\omega_{cr} = \frac{\pi\ n_{cr}}{30}$ ، فان عدد اللفات الحرج للعمود فى الدقيقة

$$n_{cr} = \frac{30}{\pi}\sqrt{\frac{k}{m}} = \frac{30}{\pi}\sqrt{\frac{kg}{G}} = 300\sqrt{\frac{k}{G}}, \qquad (23.25)$$

حيث g = ٩٨١ سم/ثانية^2 وهى عجلة الجاذبية .

والاستنتاجات التى حصلنا عليها تعتبر صحيحة أيضا عند ادخال الوزن الذاتى للمجموعة والانحناء الناتج عنه فى الحدود ، حيث أن الدوران يحدث حول محور منحنى للعمود (تحت تأثير الوزن الذاتى) .

وحيث أن الانحناء الاستاتيكى للعمود الناتج من الوزن (G) للاجزاء يكون $f = \frac{G}{k}$ ، فان :

$$n_{cr} = 300\sqrt{\frac{1}{f}}\ . \qquad (23.26)$$

وهكذا فان عدد اللفات الحرج للعمود من السهل تحديده من قيمة الانحناء الاستاتيكى f .

والاقتراب من عدد لفات العمود الحرجة، يظهر على هيئة ذبذبات قوية فى العمود ؛ ومنطقة سرعات الدوران من $0.7\ n_{cr}$ الى $1.3\ n_{cr}$ لا يجب استخدامها ، حيث أنه عند التشغيل المستمر للعمود على هذا النظام، يؤدى بلا محالة الى تحطم العمود .

ونتيجة لمختلف المقاومات التى تظهر أثناء الاهتزاز (الاحتكاك الداخلى ، والاحتكاك فى الركائز ، وتأثير الوسط المحيط) ، لا يمكن أن يحدث تحطم العمود لحظيا . وحيث أنه عندما تكون $\omega > \omega_{cr}$ تكون لانحناء العمود قيمة محددة، فانه عند الانتقال السريع عبر منطقة السرعات الحرجة تستقر حركة العمود . لذا فان الاعمدة تعمل بسرعات

$n > n_{cr}$ أيضا ؛ وفى المعتاد تكون $n \geqslant (2 \div 3)n_{cr}$. وتسمى هذه الاعمدة بالاعمدة المرنة.

وعند $\omega \to \infty$ ، فان $\gamma \to e$ ، أى أنه تحل ظاهرة الاستقرار الذاتى للعمود . والانتقال عبر منطقة السرعات الحرجة يتم باكبر سرعة ممكنة او تزود المجموعة بمخمدات - أى اجهزة خاصة لتقييد سعات الاهتزاز .

وبناء على ذلك، يمكن تفادى خطر الرنين باستخدام اعمدة جاسئة، ذات مقاومة جيدة لتشويه الانحناء وبترددات عالية للاهتزاز الذاتى ، أو باستخدام أعمدة رفيعة القطر ومرنة ذات سعات اهتزاز ذاتى منخفضة وتنحنى بحرية تحت تأثير قوى سعات اهتزاز ذاتى منخفضة وتنحنى بحرية تحت تأثير قوى الطرد المركزى وقادرة على اتخاذ شكل الاتزان المرن .

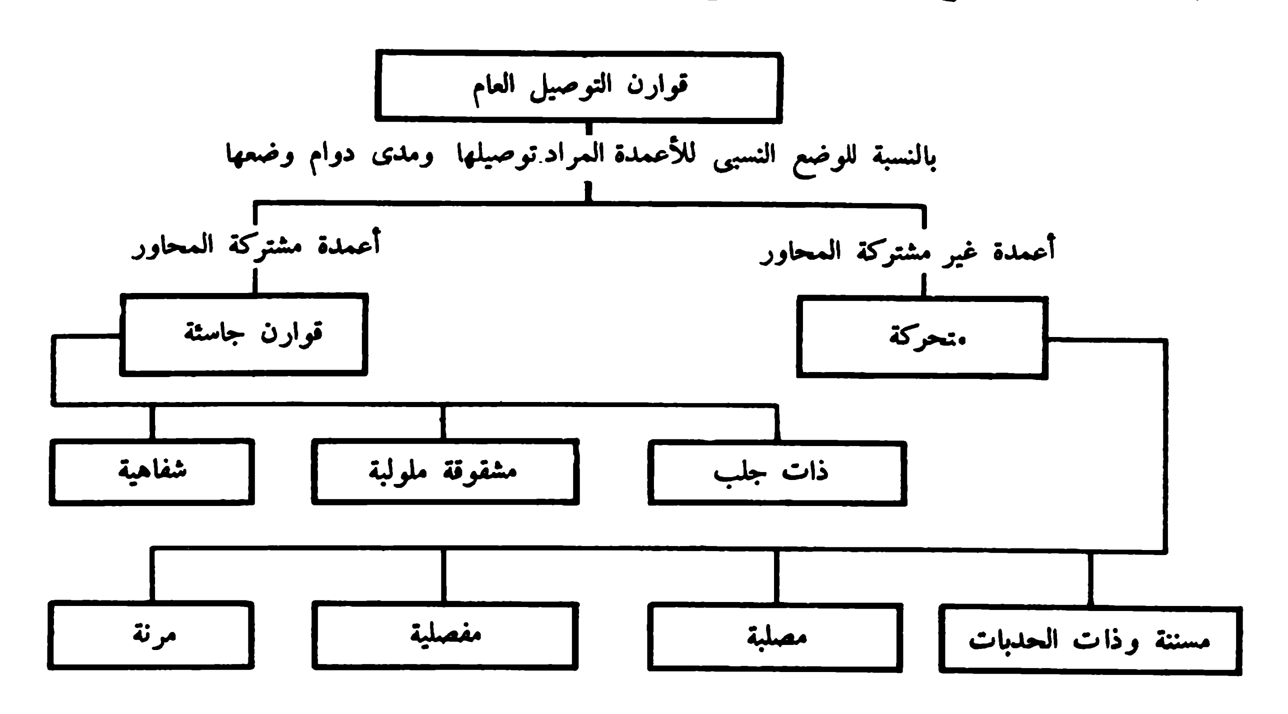
وعند السرعات الكبرى، مثلا فى اجهزة الطرد المركزى ذات السرعات ٢٠٠٠٠ — ٤٠٠٠٠ لفة/دقيقة، يضمن استخدام الاعمدة المرنة بساطة التصميم ورخصه، ويعتبر الحل الوحيد الممكن .

الباب الرابع والعشرون

القوارن والقوابض

قوارن التوصيل الدائم

تقوم القوارن من هذه المجموعة بوظيفة التوصيل الدائم للأعمدة. ومن وجهة نظر مواضع الاعمدة المراد توصيلها ، ومدى دوام هذه المواضع ، تقسم القوارن الى قوارن جاسئة للتوصيل بين الأعمدة المشتركة المحور مع ثبات الوضع النسبى بينها ، وقوارن متحركة



الشكل ٢٤ - ١

للتوصيل بين الاعمدة غير المشتركة المحاور مع تغير الوضع النسبى بينها. والشكل ٢٤ - ١ ، يوضح التصنيف العام لقوارن التوصيل الدائم.

القوارن الجاسئة . تختلف هذه القوارن عن غيرها فى انها تنقل من أحد الاعمدة للعمود الاخر ليس فقط عزوم اللى ، بشكل وكذلك عزوم الانحناء والقوى المحورية التى تنشأ فى المجموعة . وفى هذه القوارن يجرى العمل على تحريرها من مؤثرات القوى الاضافية (فيما عدا عزوم اللى) . ولهذا الغرض توضع القوارن بالقرب من الركائز.

ويدخل فى عداد القوارن الجاسئة، قوارن الجلب ، القوارن المشقوقة الملولبة ، والقوارن الشفاهية .

قوارن الجلب . وهى ابسط انواع القوارن الجاسئة، وتتكون من جلبة من الصلب او الحديد الزهر، تركب على طرفى العمودين وتوصل

معهما بمسمارين مخروطيين (الشكل ٢٤ - ٢) ، وفى الحالات الاندر، بواسطة الخوابير .

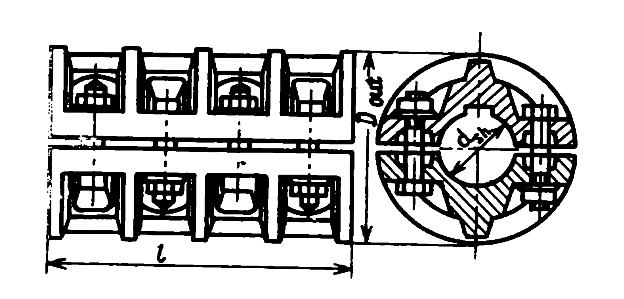
والتناسبات بين ابعاد القوارن التى تستجيب لشرط تساوى عناصرها فى المتانة :

$$l \approx 3d_{sh}; \quad e \approx \frac{3}{4}\, d_{sh};$$

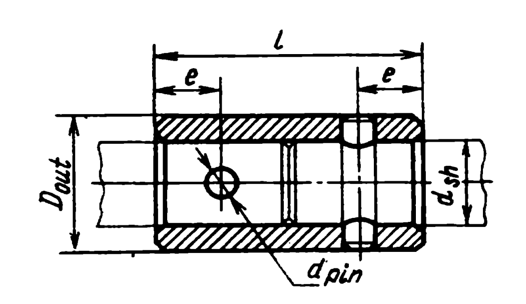
$$D_{out} \approx 1.5\, d_{sh}; \quad d_{pin} = (0.3 + 0.25)\, d_{sh}$$

(فى العادة يكون المقدار ٣ر. للقوارن الصغيرة و ٢٥ر. للقوارن الكبيرة) .

وفى معدلات (المواصفات القياسية) بناء الماكينات يوصى بصنع القوارن ذات الجلب من الصلب 35 أو 45 ، أما بالنسبة للأعمدة



الشكل ٢٤ - ٣



الشكل ٢٤ - ٢

ذات $d_{sh} > 80$ mm ، فيمكن صنعها كذلك من الحديد الزهر ماركة СЧ 21-40 .

وفى الحالات الهامة يجرى اختبار التيلات على القص وعلى سحق الجلبة والعمود بواسطة التيلات. وفى المعتاد تكون الاقرب الى التسبب فى التحطيم منها هى الاجهادات المماسية فى مادة التيلات ؛ لذا ففى حالات زيادة الحمل زيادة كبيرة فى القوارن ذات الجلب ، يؤدى ذلك الى قص التيلات.

القوارن المشقوقة الملولبة * (الشكل ٢٤ - ٣) ، وتتكون من قارنتين نصفيتين ، يزنق بينهما طرفا العمودين المراد توصيلهما ، وذلك بواسطة مسامير ملولبة . ولتقليل طول هذه القارنة، توضع المسامير المتجاورة متعاكسة الاطراف، كما يتضح ذلك من الشكل ٢٤ -٣.

وطول القارنة مرتبط بوضع العدد اللازم من المسامير. ويكون عادة $l \approx (4 + 3)\, d_{sh}$ ؛ والقطر الخارجى للقارنة $D_{out} \approx (4 + 2)\, d_{sh}$

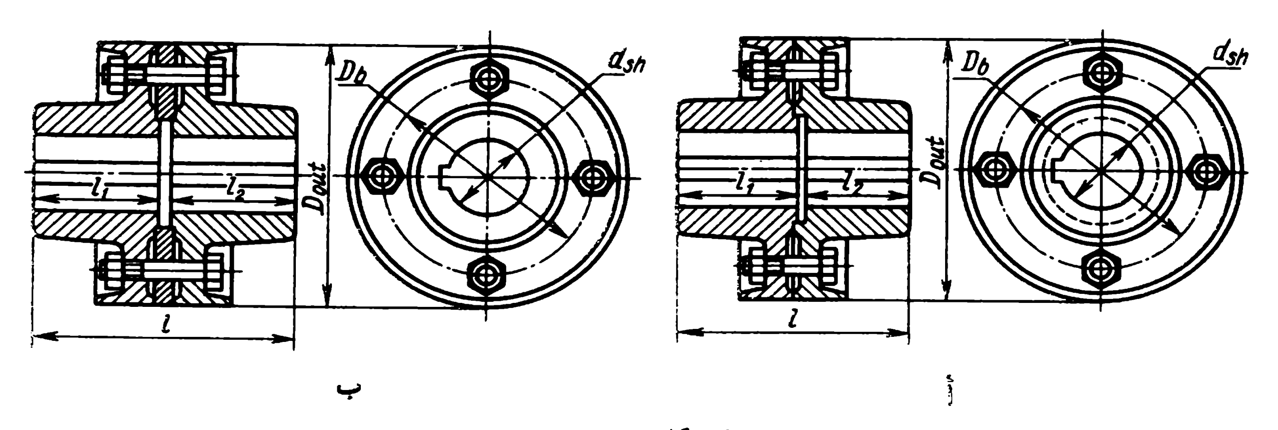
---

* تحتوى المراجع المتخصصة على حسابات القوارن المشقوقة الملولبة مع وجود خابور .

وفى هذه النسبة تؤخذ القيم الاكبر (٤) فى حالة القوارن ذات الابعاد الصغيرة ($d_{sh} \approx 25$ mm) ، اما القيم الاصغر (٢،٣) فتؤخذ للقوارن الكبيرة ($d_{sh} \approx 300$ mm) .

والقوارن ذات الابعاد الصغيرة والمتوسطة، تنقل عزم اللى فقط بواسطة الاحتكاك بين العمودين والقارنة. أما القوارن ذات الابعاد الكبيرة، فتزود بخابور يوصل بين الاعمدة والقارنة، ينقل الجزء الاكبر من عزم اللّى .

وينحصر حساب القوارن المشقوقة الملولبة فى تحديد ابعاد المسامير الملولبة وكميتها . وينفذ هذا الحساب كما هو الحال فى الوصلة القامطة (انظر ص ٩٩ ( ) انطلاقا من فرض انه حتى مع وجود خابور، فان عزم اللى ينقل فقط بالاحتكاك بين العمودين والقارنة.



الشكل ٢٤ - ٤

وتوصل قوارن الجلب ، والقوارن المشقوقة الملولبة بالاعمدة بعد تركيب الاخيرة فى كراسى محاورها .

القوارن الشفاهية (الشكل ٢٤ - ٤) . تختلف هذه القوارن عن النوعين السابقين فى أنها تركب على اطراف الاعمدة بعد تسخينها أو تحت المكبس، وذلك بعد ان تركب الاعمدة فى كراسى محاورها . ولغرض توفير الدقة الاكبر تخرط اطرف القوارن الشفاهية واسطح المركزة (الشكل ٢٤ - ٤، أ) بعد تركيبها على الاعمدة، اى مجمعة معها . وبغرض تسهيل عملية تجميع اعمدة الادارة الطويلة، يمكن مركزة القوارن النصفية بواسطة حلقتين نصفيتين (الشكل ٢٤-٤،ب)، وفى هذا التصميم لا تتحتم ازاحة العمود فى الاتجاه المحورى بغية انتزاعه .

واذا كان من اللازم نقل عزوم لى وقوى كبيرة تصنع الشفاهات وقطعة واحدة مع الاعمدة. واذا وجدت عند أطراف الاعمدة شفهات، فان كل الاجزاء المركبة على العمود (من عجلات مسننة وبكرات وحدافات وكراسى محاور ... الخ) يجب أن تكون قابلة للفك (الى سقين) . ويعتبر هذا من عيوب القوارن الشفاهية، الا انها نظير ذلك، تضمن اكثر الوصلات دقة وجساءة ومتانة بين

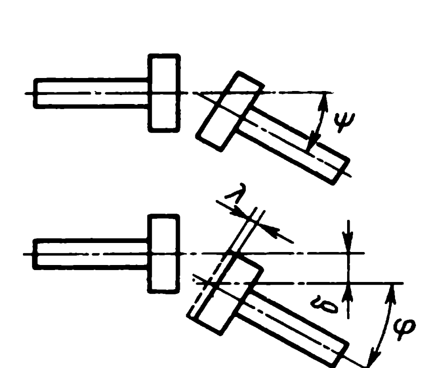
الاعمدة . لذا فانه فى الحالات الهامة، توصل الاعمدة كقاعدة عامة بواسطة القوارن الشفاهية (فى حالات المولدات البخارية التوربينية المرتكزة أعمدتها على ثلاث ركائز، وكذلك التوربينات الايدرولية الرأسية، وأعمدة رفاصات السفن ... وما الى ذلك).
والقوارن الشفاهية تنقل عزم اللى اما عن طريق الاحتكاك بين جوانب القوارن النصفية المضغوطة على بعضها البعض بواسطة المسامير الملولبة، واما بواسطة المسامير نفسها المعرضة للقص بحيث تكون المسامير مركبة بتوافق دقيق فى ثقوب شقى القارنة (راجع حساب المسامير ص ١٩٨).
وبفرض رسم الرسم الهندسى الابتدائى ، يمكن أخذ الطول الكلى للقارنة مساويا $l \approx (5 \div 2.5)d_{sh}$ ، أما القطر الخارجى D_{out} فيؤخذ مساويا $D_{out} \approx (4.5 \div 2)d_{sh}$ ، وقطر دائرة خطوة المسامير $D_b = (6.5 \div 2.5)d_{sh}$.
وقطر المسامير وعددها مرتبطان من جهة، بالمساحة الكلية المعينة حسابيا ، ومن جهة أخرى بضرورة توزيع المسامير حول محيط القارنة مع اعتبار المسافة اللازمة لدخول مفتاح المسامير. وهذه الحالة مثلها مثل الاحوال المشابهة، يعثر على الحل الامثل عن طريق المقارنة بين عدة قيم لقطر المسمار $(d_1, d_2, \ldots)d$ ، وعدد المسامير اللازمة $(z_1, z_2, \ldots)z$ * .
ويؤخذ فى الاعتبار فى كل من الصيغتين (10.17) ، (10.18) نقل عزم اللّى وحده. بينما ان القوارن الشفاهية كثيرا ما تتعرض بالاضافة الى ذلك لاحمال عزوم الانحناء ولقوى الشد ايضا. فمثلا فى حالة عمود المولد التوربينى ذى الركائز الثلاث، تتعرض القارنة لعزم انحناء ناتج عن وزن العضو الدوار والقوى الجذب الكهرومغناطيسية. وفى التوربينة الايدرولية - تتعرض القارنة الى قوة شد من وزن العجلة العاملة، والضغط الايدرولى . وفى الحالات الخاصة يكون تعيين هذه الاحمال الاضافية خال من الصعوبة. ولكن فى الحالة العامة، لا يمكن اظهار هذه الاحمال فى صيغة سهلة بدرجة كافية. وفى كل تلك الحالات ينحصر الحساب فى تعيين الاحكام الابتدائى فى المسامير، وابعادها الكفيلة بتوفير المتانة واستبعاد انفراج تنكب شقى القارنة. وطريقة الحساب هذه عرضت فى فصل " وصلات اللوالب " (ص ١٩٢).
<u>والقوارن الجاسئة المتحركة</u>. ان المركزة الدقيقة للاعمدة، والمحافظ عليها دوما ، وهى الشرط اللازم لاستخدام القوارن الجاسئة - كثيرا ما يكون تحقيقها مستحيلا حتى ولو بالتقريب. وعدم الدقة فى

---

* يمكن أخذ نسبة مساحة مقاطع المسامير ومساحة مقطع العمود مساوية لـ $\frac{١}{١٠} - \frac{١}{٢٠}$ وذلك للحساب الابتدائى .

الوضع النسبى بين الاعمدة المراد توصيلها لا يمكن تجنبه بسبب أخطأ التصنيع، التى تزداد بعد ذلك نتيجة للتشويهات الناتجة بدورها عن الاحمال العاملة وتأثير درجة الحرارة، وعدم انتظام هبوط الاساسات وغير ذلك من الاسباب . وفى الحالات المشابهة توصل الاعمدة بقوارن متحركة.

ان الازاحات النسبية الممكنة بين الاعمدة المراد توصيلها، يبينها الشكل ٢٤ - ٥ . وكل هذه الازاحات توصفها الازاحة الطولية λ ، والازاحة المحيطية φ ، وازاحة المركزى δ ، و " زاوية الانكسار " ψ .



الشكل ٢٤ - ٥

وفى الوصلات المنفذة بواسطة القوارن المتحركة، تعوض الازاحات بواسطة القابلية النسبية لعناصر القارنة على الحركة . ويتم التوصل الى ذلك بأحدى الطرائق التالية:

١ - بالخلوصات الكبيرة فى الاجزاء المتوافقة فى القارنة (وتستخدم فقط فى حالات وسائل نقل الحركة العاملة بسرعات صغيرة واحمال غير كبيرة) ؛

٢ - بالانزلاق : وهو انزلاق بعض الاجزاء بالنسبة للبعض الاخر ؛ وتتطلب مثل تلك القوارن التزييت (وتستخدم فى وسائل نقل الحركة بدون التقيد بالسرعات او الاحمال ، وهى تسبب حملا اضافيا غير كبير على الاعمدة وكراسى المحاور) ؛

٣ - بالمطيلية المرنة للاجزاء ؛ ولا تتطلب هذه القوارن تزييتا ، الا انها تسبب احمالا اضافية على الاعمدة وكراسى محاورها ، علما بانها تكون اكبر، كلما زادت جساءة القارنة والازاحة النسبية بين العمودين المراد توصيلهما .

والقوارن التى تستخدم فيها وسيلتا التعويض الاوليان (الخلوصات الكبرى والانزلاق) ، يمكن تسميتها بالقوارن الجاسئة ذات التعويض، أما القوارن التى تستخدم فيها الوسيلة الثالثة للتعويض (المطيلية المرنة) فتسمى بالقوارن المرنة ذات التعويض او بالاختصار القوارن المرنة .

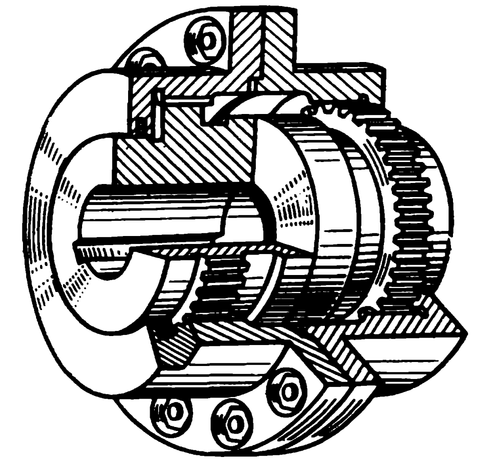
والقوارن الجاسئة ذات التعويض تنقسم الى قوارن مسننة وصلبة، ومفصلية.

وكل القوارن ذات التعويض لا تنفى الحمل القطرى على الاعمدة والركائز الناتج عن اختلاف محاور الاعمدة المراد توصيلها ولكن تقلل فقط من مقداره . وعلاوة على ذلك

فالقوارن هذه تعتبر مصادر اضافية للاحمال القطرية بسبب عدم دقة بعض اجزائها * .

وعلى أسواء الاحوال فان القارنة المتحركة تشبه المرفق، فى انها تنقل عزم اللى M_t بنقطة واحدة فقط (مثلا، بواسطة سنة واحدة فى القارنة المسننة او باصبع واحد فى القارنة المرنة ذات الجلبة والاصابع. الخ)، بعيدة عن محور الدوران بمسافة $\frac{D}{2}$. وفى ذلك يكون الحمل القطرى R على الاعمدة مساويا القوة المحيطية كاملة :

$$R = P = \frac{2M_t}{D}.$$



الشكل ٢٤ - ٦

وفى الحالة العامة فان الحمل القطرى الاضافى

$$0 < R < P.$$

ولقد اظهرت الابحاث التجريبية انه فى التصاميم الواسعة الانتشار من انواع القوارن ذات التعويض مع وجود القيم المعتادة لاختلاف محاور الاعمدة واخطاء الانتاج $R = (0.2 \div 0.4)P$.

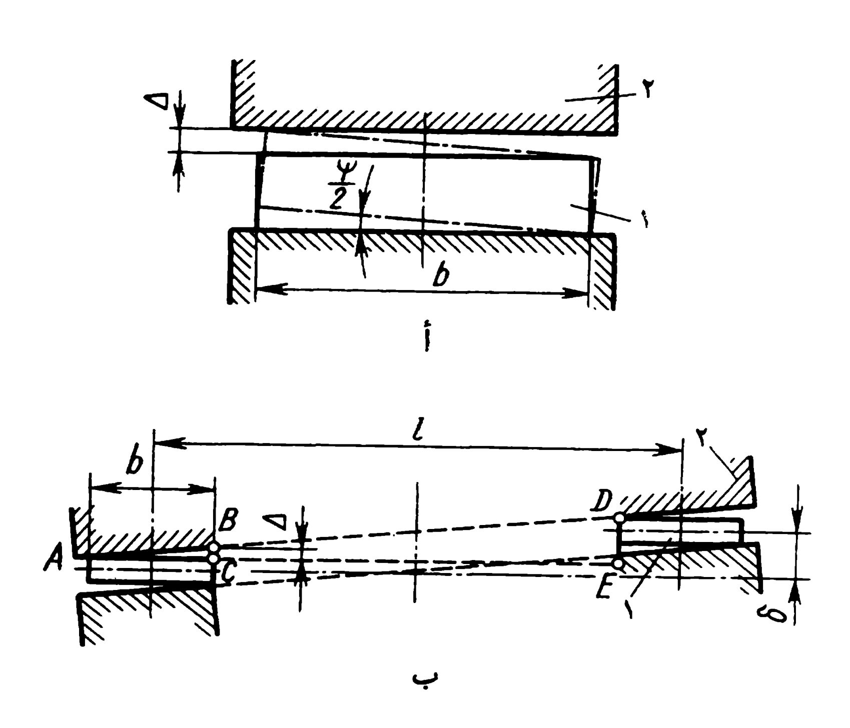
ومن الواضح ان نوعية القارنة ذات التعويض يجب ان تقيم أيضا لواسطة قيمة R . وتقوم القارنة بتعويض عدم انطباق المحاور بشكل أفضل ، كلما كان ما تخلقه اثناء ذلك من حمل اضافى على الاعمدة والركائز اقل .

القوارن المسننة (الشكل ٢٤ - ٦)، تتكون من جلبتين مسننتين ومن غلافين باسنان داخلية. والجلبتان مركبتان على طرفى العمودين المراد توصيلهما . اما الغلافان فيثبتان فى بعضهما بواسطة مسامير ملولبة ويعشقان فى الجلبتين باسنانهما على طول محيطيهما . ويحوى الغلافان زيت التزييت. وعند دوران القارنة يندفع الزيت الى المحيط، متغلغلا الى مناطق التلامس. ويلعب الزيت فى عمل القارنة المسننة دورا ملموسا : فانه بتخفيضه لمقدار الاحتكاك بين الاسنان، يقلل مقاومة القارنة للازاحة النسبية بين نصفى القارنة، والحمل القطرى الاضافى على العمودين والركيزتين .

---

* لذا ففى الماكينات الثقيلة الحديثة والهامة (مثل مجموعات التوربينات) يجرى السعى لتغيير القوارن المتحركة ذات التعويض بقوارن جاسئة اكثر أمانا، حيث تتطلب تركيبا اكثر دقة للاعمدة المراد توصلها، الا ان كفاءتها تكون اكبر اثناء العمل .

ولاسنان القوارن شكل انفوليوتى مع زاوية للتعشيق مقدارها ٢٠° .
وبغرض تسوية متانة الاسنان على الجلب والقارنة النصفية، تجرى عملية تصحيح على اشكال الاسنان . والجزء العلوى للاسنان على الجلب يكتسب شكلا مستديرا بنصف قطر مساو لنصف قطر قمم اسنان الجلبة، أى انها تتخذ الشكل الكروى . وبين اسنان الجلب ١



الشكل ٢٤ - ٧

والقارنة النصفية ٢ (الشكل ٢٤ - ٧) يوجد خلوص، يمكن من جرائه حدوث ازاحات فى العمودين .
ومقدار هذه الازاحة مرتبط بالخلوص وبغيره من البارامترات فى القارنة على الوجه التالى :
زاوية ψ للانكسار المسموح به بين محورى العمودين تحدد من المعادلة (الشكل ٢٤ - ٧، أ) :

$$\sin \frac{\Psi}{2} = \frac{\Delta}{b},$$

حيث Δ - الخلوص الجانبى بين الاسنان ؛ b - العرض العامل للاسنان . وقيمة الازاحة المسموح بها بين المركزين يمكن ايجادها من تشابه المثلثين ABC ، ADE (الشكل ٢٤ - ٧، ب) :

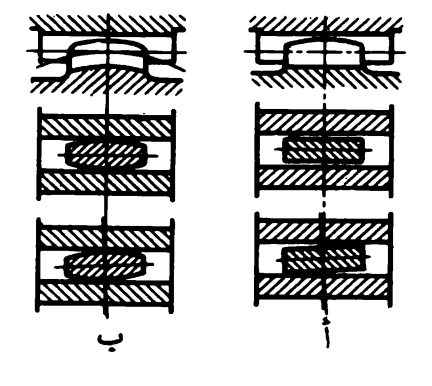
$$\delta = DE = AE \frac{BC}{AC}$$

أو

$$\delta = \frac{l}{b} \Delta,$$

حيث l - المسافة بين منتصفات الاسنان على كلا الجلبتين .

وبالنسبة للقيم $\frac{\Delta}{b} \approx 0.013$ و $\frac{l}{b} \approx 7$ و $\Delta \approx 0.1 \div 1.5$ mm, (وذلك تبعا لابعاد القارنة)، فان الازاحات المسموح بها $\delta \leqslant \Delta$ 0.7+10.5 mm ، $\psi < 1°30'$.
وبفرض زيادة الازاحة المسموح بها δ تستخدم تركيبة تحتوى على عمود بينى . والازاحات المسموح بها ψ ، δ تزداد اذا ما كان للاسنان شكل برميلى (الشكل ٢٤ - ٨، ب) . وهذا الشكل للاسنان يجب استخدامه حتى للقيم الاعتيادية لكل من ψ ، δ . ويعتبر تشكيل هذه الاسنان اكثر صعوبة ، اذ يتطلب جهازا خاصا يركب على ماكينة تشكيل التروس بالتفريز ، الا أنه يبرر نفسه بفضل تحسينه الكبير لعمل القارنة، وبتخفيض اجهادات التلامس، وبزيادة عمر خدمة الوصلة بالمقارنة مع الاسنان العادية (الشكل ٢٤ - ٨، أ) .



الشكل ٢٤ - ٨

ولقد حصلت القوارن المسننة على انتشار واسع وخصوصا فى الصناعات الثقيلة. وفى الاتحاد السوفييتى يكون تصميم القوارن المسننة وبارامتراتها الاساسية خاضعة للمواصفات القياسية والمواصفات القياسية هذه تحدد اقطار الاعمدة المراد توصيلها من ٤٠ الى ٥٦٠ مم ، مع أقصى قيمة لعزم اللى المنقول من ٧١ الى ١٠٠٠٠٠ كجم· متر . وأقصى عدد لفات للقارنة تحدد المواصفات القياسية، يتجاوب مع السرعة المحيطية على المحيط الابتدائى للتعشيق بالاسنان، وهو يساوى ٢٥ كترا/ثانية.
والجلب والاغلفة المشكلة بالطرق فى القوارن المسننة تصنع من الصلب 40 ، أما المسبوكة فمن الصلب 45 Л 11 . وتعرض اسنان الجلب والاغلفة لمعاملة حرارية حتى تصل صلابتها الى ما لا يقل عن Rc 40 ، بالنسبة للجلب، والى ما لا يقل عن Rc 35 ، بالنسبة للاغلفة . وبالنسبة للقوارن الاقل تحميلا ، والعاملة بالسرعات الاقل (حتى ٥ أمتار/الثانية) يسمح بصلادة اقل لاسطح الاسنان $Bhn \geqslant 280$ ، ومع ضرورة وجود فرق فى صلادة اسنان الجلب وصلادة اسنان الاغلفة بمقدار Bhn 30 تقريبا .
والقوارن القياسية تسمح بانحراف محور كل جلبة بالنسبة لمحور الغلاف ، الذى ينتج عن عدم تطابق محورى العمودين المراد توصيلهما بما لا يزيد عن 0°30′ ، اى ان $\frac{\psi}{2} \leqslant 0°30'$ (الشكل ٢٤ - ٧) .
وحساب القوارن المسننة على المتانة وعمر الخدمة مملوء بالصعوبات وسببها تعقيد توزيع الاحمال بين الاسنان نتيجة انحراف الاعمدة . وتختار القوارن ذات التصميم القياسى حسب قيمة عزم اللى الاقصى الواردة فى المواصفات القياسية .

القوارن المصلبة * (قوارن اولد هيم) وتتكون من قارنة نصفية بهـــا قناتان قطريتان، وقرص بينى عليه نتوءان مصلبان (متقاطعان) والزاوية بينهما = ٩٠° (الشكل ٢٤ - ٩، أ). وتستخدم القارنة لتوصيل الاعمدة ذات المحاور المتوازية أو المتقاطعة بزاوية صغيرة (حتى $\varphi = 1^\circ$) مع انحراف العمودين بما لا يزيد عن $\delta \approx 0.05\ d_{sh}$.

والقيمة المسموح بها لاختلاف محور العمودين، ومقدرة عمل القوارن المصلبة، تعينان بالمقاومة الناتجة اثناء الحركة النسبية بين اجـزاء القارنة. وعند حدوث مقاومة كبيـرة يحدث عض (زرجنة) للقارنة، تزيد كثيرا من جراء ذلك الاحمال الواقعة علـى العمودين.

والقارنة ذات الدليل المنزلق البينى على صورة منشور قائم (الشكل ٢٤-٩، ب) لها اسطح عاملة اكبر، وتحتفـظ بالتزييت بشكل افضل وتسمح ب $\psi \leqslant 3^\circ$ و $\delta \approx 0.1\ d_{sh}$.

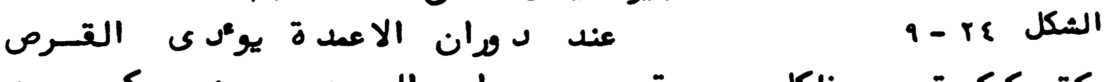
والقارنة ذات المشط على هيئة سنـة بشكل انفوليوتى، وذات المجرى الاسفينى (الشكل ٢٤ - ٩، ج)، تسمح بانكسـار كبير يصل الى $\psi \leqslant 4^\circ$.

أ

ب

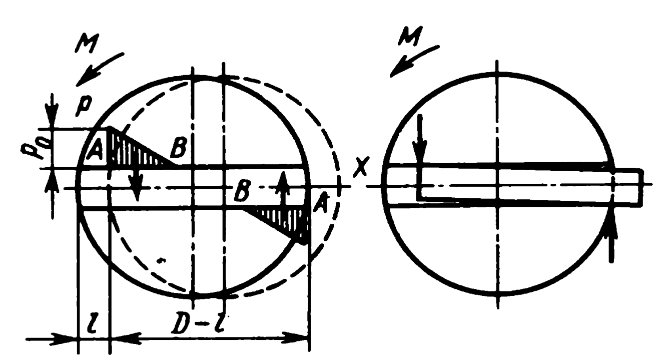
ج

الشكل ٢٤ - ٩



عند دوران الاعمدة يؤدى القـرص البينى حركة كوكبية : فلكل دورة من دورات العمود يصنع مركــزه دورتين، راسما فى ذلك دائرة قطرها δ، حيث δ - انحراف المحورين المتوازيين للعمودين.

ويظهر نتيجة لعزم اللى المنقول بواسطة القارنة، ضغط علـى الحواف العاملة، يكون غير منتظم على طول الحافة. واذا اعتبرنـا الحمل الموزع حسب قانـون المثلث (الشكل ٢٤ - ١٠) بقيمـة على الحافة AB مساوية ل kD، حيث k كمية تعتمد علـى الخلوص بين الحواف وعلى درجة تشطيبها، لحصلنا على صيغـة لعزم اللى الحسابى الذى تنقلـه القارنة



الشكل ٢٤ - ١٠

---

* تسمى هذه القارنة فى بعض المواصفات " قارنة حدبيـة قرصية ".

$$M_{t\,des} = \frac{p_0 kDh}{2}\left[(D - l) - \frac{2}{3}\,kD\right] = \frac{p_0 kDh}{2}\left[D\left(1 - \frac{2}{3}\,k\right) - l\right],$$

حيث h ـ الارتفاع العامل للحواف المحتكة ؛ l ـ مسار المشط في مجراه، المناظر للحظة الزمنية الاختيارية.

ومن هنا

$$p_0 = \frac{2M_{t\,des}}{hDk\left[D\left(1 - \frac{2}{3}\,k\right) - l\right]}.$$

والضغط p_0 يصل الى أقصى قيمة له عندما تكون $l = l_{max} = \delta$.

$$P_{max} = \frac{2M_{t\,des}}{hDk\left[D\left(1 - \frac{2}{3}\,k\right) - \delta\right]} = \frac{2M_{t\,des}}{hD^2k\left[\left(1 - \frac{2}{3}\,k\right) - u\right]},$$

حيث $u = \frac{\delta}{D}$ الانحراف النسبى بين العمودين .

وبعد التليين تأخذ k القيمة $0.3 \leqslant k \leqslant 0.8$ ويقع المقدار $k\left(1 - \frac{2}{3}\,k\right)$ بين الحدين ٢٤ر٠ الى ٣٧ر٠ واذا اخذنا أقل هاتين القيمتين (٢٤ر٠) التى تناظر $k = 0.3$ ، نحصل من المتساوية الاخيرة على :

$$p_{max} \approx \frac{8M_{t\,des}}{hD^2(1-1.2u)}$$

وفى حالة الانحراف الصغير $\delta << D,\, u << 1$ ، يمكن كتابة هذه الصيغة بدقة كافية للاغراض التطبيقية :

$$p_{max} \approx \frac{8M_{t\,des}}{hD^2}$$

ولانواع الصلب القابل للتصليد الاسمنتى 15X, 20X والمقسى حتى صلادة Rc 55–60 ، يمكن السماح لقيمة $p_{max} = 2$ kgf/mm^2 أن تصل الى ٢ كجم/مم٢ .

القوارن المفصلية * . وتستخدم لتوصيل الاعمدة تنحرف محاورها عن بعضها البعض بزاوية معينة أو التى تنحرف عن بعضها البعض حسب ظروف استخدام الماكينة اثناء الضبط او التشغيل .

وتستخدم مثل هذه القوارن مثلا فى السيارات لتوصيل اعمدة صندوق السرعات بوصلة المحور الخلفى ؛ وفى ماكينات الدلفنة، لنقل عزم اللى الى الدلفينات العاملة ؛ وفى ماكينات التشغيل

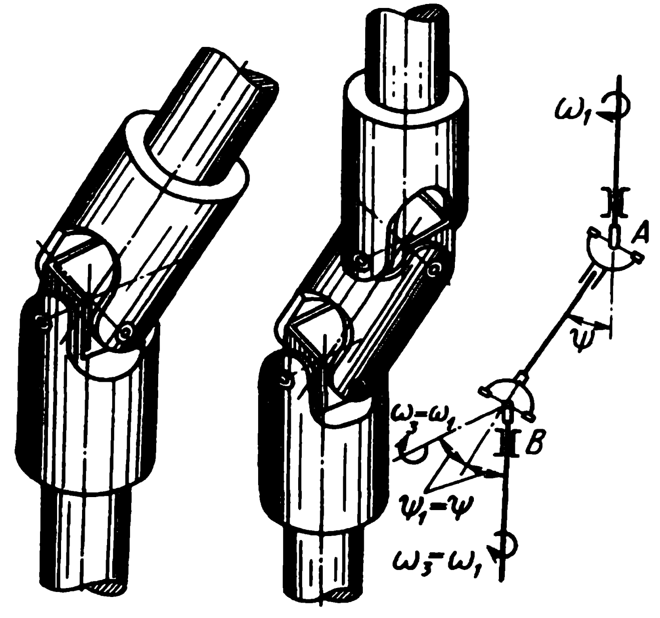
---

* وهى تسمى أيضا بالمفصلية الجامعة الاغراض، او قارنة الكردان او قارنة هوك .

لنقل الحركة الدورانية الى اعمدة دوران الرؤوس العديدة المحاور، وما الى ذلك .

وللاعمدة ذات الاقطار $d_{sh} = 10 \div 40$ mm ، فان ابعاد القوارن المفصلية خاضعة للتوصيف القياسى. والشكل ٢٤ - ١١ يبين التركيبة المقترحة فى المواصفة القياسية.

ويصنع الصليب وشوكتا القارنة من الصلب 40X ، والمقسى حتى صلادة Rc 48-53 ،أو يصنع الصليب من الصلب ШX15 ، اما الشوكتان فمن الصلب الكرومى المصلد حتى درجة الصلادة Rc 60-65 . والقوارن المفصلية يجب أن تحمى من الاتربة والتلوث ، ويجب ان تزيت جيدا .



الشكل ٢٤ - ١١

وعيوب القوارن المفصلية ذات التصاميم المعتادة حتى عدم انتظام دوران العمود المنقاد مع ثبات سرعة دوران العمود القائد * ولذلك اذا لم يكنا مشتركين فى محاورهما. وما يتبع ذلك من التسارع الزاوى للعمود المنقاد يؤدى الى ظهور قوى قصور ذاتى تزيد من تحميل اجزاء القارنة. واذا ما استخدمت قارنتان مفصليتان، يتم التوصل تحت ظروف معينة الى توافق دوران العمودين القائد والمنقاد ، ولكن فى هذه الحالة يكون دوران العمود البينى غير منتظم ** .

القوارن المتحركة المرنة. وهى علاوة على تعويضها لعدم تطابق محورى العمودين المراد توصيلهما ، فانها تؤثر كثيرا على الصفات الديناميكية للمجموعة، وذلك بتغييرها فى الاتجاه المرغوب.

ومن السهل تمثيل عمل القارنة المرنة، باستبدال المحرك والماكينة العاملة، أو قسمى عمود الادارة الموصلين فيما بينهما قارنة مرنة، بابسط منظومة ذات كتلتين : قرصان بعزمى قصور ذاتى لكتلتيهما مساويين ل I_1 ، I_2 يتصلان بقضيب عديم الوزن له جساءة لى تساوى c . وحيث أن مطيلية اللى للقارنة المرنة أقل كثيرا من مطيلية العمودين المراد توصيلهما ، فيمكن اعتبار أن c تعنى فى وقت واحد جساءة المجموعة وجساءة القارنة.

---

* هناك تصاميم خاصة للقوارن المفصلية "ذات السرعة الزاوية الثابتة".

** لذا فان عزم القصور الذاتى للعمود البينى يجب تقليله بقدر الامكان بغية تقليص تأثيره على عمل الماكينة .

وفى هذه المنظومة، اذا ما أثر على احدى الكتلتين عزم انفعالى $M = M_0 \sin \omega t$ ، فان سعة ذبذبة العزم المؤثر علـــى القارنة (فى المنظومة ـ القضيب) يعبر عنها بالصيغة

$$M_{t\,des} = \pm M_0 \frac{I_2}{I_1 + I_2} \mu .$$

ويمكن ان يصف المعامل μ فعالية استخدام القارنة المرنـــة. ويعتمد اساسا فى قيمته على النسبة بين الترددين $\frac{\omega}{p}$ حيث ω - تردد العزم الانفعالى؛ p - تردد الاهتزاز الذاتى للمنظومـــة بدون اخماد $\left(p = \sqrt{\frac{C}{I_1} + \frac{C}{I_2}}\right)$.

وتردد الاهتزاز الذاتى للمجموعة مع القارنة يجب أن يكون أقل كثيرا من تردد القوى الانفعالية. وفى هذه الظروف يمكن، اهمال الاخماد ، وتعيين المعامل μ من العلاقة المعلومة :

$$\mu = \frac{1}{\left(\frac{\omega}{p}\right)^2 - 1}.$$

ومثلا اذا كان $\frac{\omega}{p} = 3 \div 5$ فان $\mu = \frac{1}{8} \div \frac{1}{24}$.

وبناء على ذلك فان القارنة المرنة تعتبر مع حسن الاختيـــار، جهازا فعالا لعزل الاهتزازات.

والقسم الاساسى فى القارنة المرنة الذى يحدد خواصهـــــــا وتشكيلها التصميمى، هو العنصر المرن.

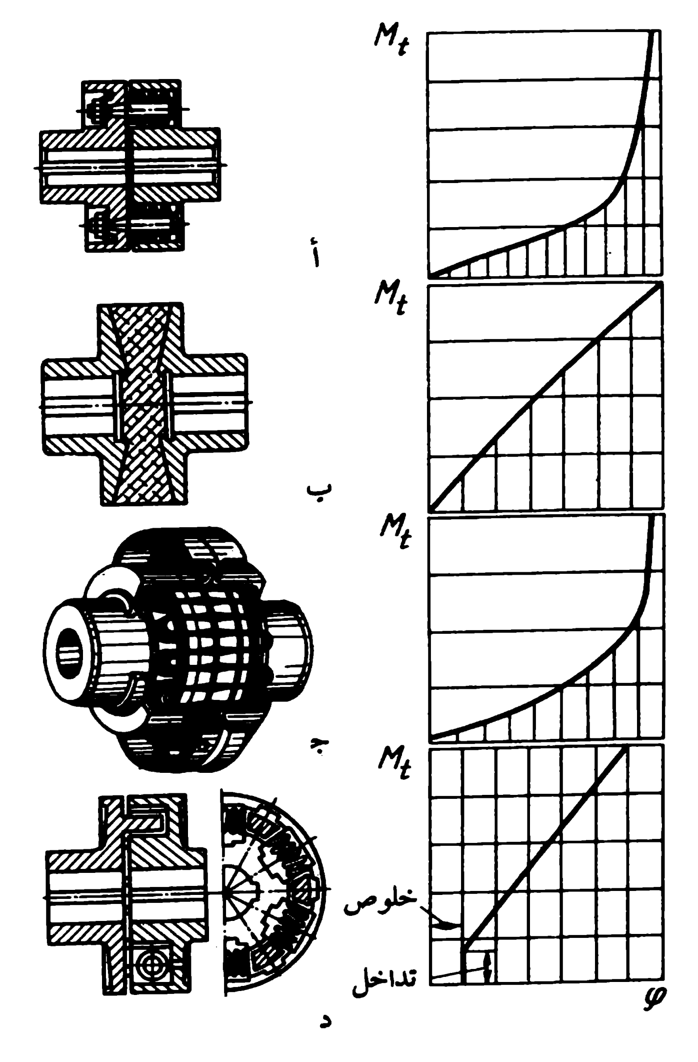
ويستخدم فى الاساس الصلب والمطاط كمادتين للعناصر المرنـــة. ولقد توسع بشكل خاص أثناء السنوات العشر الاخيرة استخـــدام المطاط لصنع العناصر المرنة، وتستغل بها خاصية هامة من خواص المطاط وهى مقدرته على السماح بتشوهات كبيرة مع تشتيت اكبـــر كمية من الطاقة على وحدة الاحجام. والطاقة النوعية لوحدة الكتل للتشوه المرن فى المطاط تقارب ٤٥٠٠ كجم ∙ متر/كجم، على حيـــن أن هذه الطاقة بالنسبة للصلب الزنبركى تساوى ٣ كجم ∙ متر/كجـم. ولقد اصبح انتشار استخدام العناصر المرنة المطاطية ممكنا بعـــد وضع طريقة يعول عليها لتثبيت المطاط من المعادن. ومتانة هـــذه الوصلة تصل الآن الى ٧٠ كجم/سم٢ ، ولا تتغير تقريبا حتى درجة الحرارة ٨٠° مئوية.

وفى التصاميم الموجودة للقوارن، تستخدم كل الانواع المعروفة تقريبـا من العناصر المطاطية المعدنية، وكذلك اليايات المصنوعة من الصلـب (حالات الضغط، والثنى ، واللى). والاسس العامة لحساب هـــذه العناصر اوردناها فى الباب الحادى عشر.

ومنحنى مرونة الياى يكون فى العادة خطا مستقيما للتشوهـــات القليلة، ويتقوس فى الاتجاه اللازم بمساعدة الصواد والخلوصات والشد الابتدائى ، وما شابه ذلك.

والشكل ٢٤ - ١٢ يبين التصاميم النمطية لبعض القوارن المرنــة، ومنحنيات مرونتها .

القوارن ذات الجلب والاصابع (الشكل ٢٤ - ١٢ ، أ) . تتكون هــذه القوارن من قارنتين نصفيتين شفاهيتين . وفى أحد النصفين تثبت أصابع من الصلب عن طريق تيلات مخروطية، وتركب على الاصابـع جلب مطاطية تتكون من حلقات مقطعها شبه منحرف. وهــذه الاصابع تدخل فى ثقـــوب اسطوانية فى النصف من القارنة الاخرى .



الشكل ٢٤ - ١٢

ومصنفات القوارن التى تشملهــا المواصفة تتكون من صفين فى كـل منهما ٩ ارقام (من ١ الى ٩) بنظام تصاعدى لاقطار الاعمــدة المراد توصيلها ابتداء من ٢٨ حتى ١٥٠ مم ولعزم اللى المنقــول ابتداء من ١٢٫٨ وحتى ١٥٣٨ كجم متر، لصف القوارن الاعتياديـــة (MH1 ÷ MH9) ، ومن ٦٫٧ الى ٧١٦ كجم متر لصف القـــوارن المخففة (MO1 ÷ MO9) .

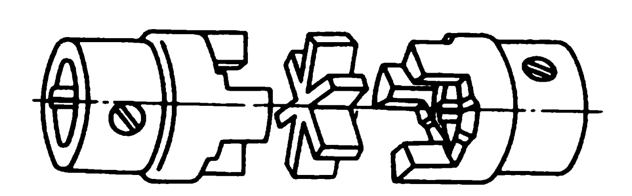
والسرعة المحيطية على القطـــر الخارجى للقوارن لا تزيد عــن ٣٠ مترا/ثانية. ويفسر هـــذا اساسا بسبب زيادة درجـــة حرارتها وتحطم الجلب المطاطية عند التردد الكبير للتحميل .

والقوارن من نوع MYBП ليست مخصصة لتعويض عدم تطابق محورى العمودين المراد توصيلهما. اذ انها تعوض فقط الانحراف المحورى للأعمدة الذى تتميز بـه الاعضاء الدوارة فى الماكينات الكهربية (بسبب الضبط الذاتـــى لموضعها فى المجال المغناطيسى) ، وتخفف من الدفعات عند نقل الدوران . الاعمدة غير المشتركة المحاور بمساعدة هذه القـــوارن يؤدى الى التآكل السريع بالاحتكاك للجلب المرنة ولظهور أحمـال قطرية اضافية على الاعمدة وركائزها (انظر ص ٤٥٤) .

القوارن ذات النجمة المطاطية (الشكل ٢٤ - ١٣) . تتكون هــذه القوارن من قارنتين نصفيتين وحدبتين (بالنسبة الى $D = 25 \div 40$ mm)، أو ثلاث حدبات (عند $D = 50 \div 160$ mm) ذات مقاطع مثلثـــة

أو شبه منحرفة. وتدخل الحدبات فى تجاويف مناظرة فى العضو المرن البينى - النجمة المصنوعة من المطاط. واسنان النجمة تعمل على الضغط وعند نقل عزم اللى تعمل فى كل جانب سنتان أو ثلاث من اسنان النجمة، وذلك تبعا لعدد الحدبات فى القارنة.

والضغوط المسموح بها تتراوح بين ٢٠ كجم/سم٢ عندما تكون سرعة الدوران ١٧٥٠ لفة/الدقيقة، و ٧٠ - ١٠٠ كجم/سم٢ عندما تكون السرعة ١٠٠ لفة/الدقيقة.

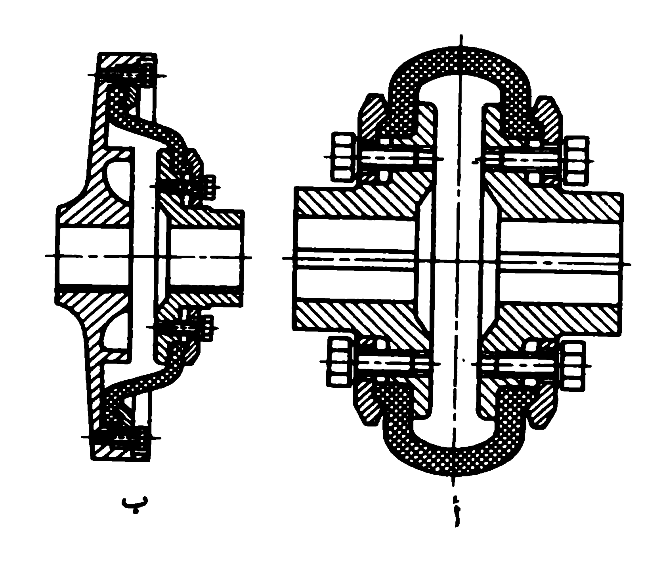


الشكل ٢٤ - ١٣

وثمة قوارن لنقل عزوم لى تتراوح بين ١٥ر٠ و ٤٥ كجم ٠م.

القوارن ذات الطوق المطاطى المرن الصندوقى او الحلقى الشكل (٢٤ - ١٤، أ، ب). تتكون هذه القوارن من قارنتين نصفيتين وطوق مرن مطاطى او مطاطى مقوى بالحبال، وحلقات رابطة.

وفى القوارن السريعة الدوران يكون الطوق من قطعة واحدة، وفى غيرها تكون الاطواق مشقوقة لتسهيل التركيب، أو تكون مكونة من عدة اطواق مرنة من نفس الشكل.



الشكل ٢٤ - ١٤

ومزايا هذه القوارن هى: المقدرة على تعويض عدم الدقة الملموسة فى وضع الاعمدة، وسهولة تركيب واستبدال العنصر المرن، أما العيوب فهى الاحجام الكبيرة نسبيا.

والانحرافات المسموح بها بين محاور الاعمدة هى تبعا لابعاد القارنة: القطرية ٢ - ٦ مم، المحورية حتى ٨ مم، الزاوية ٢ - ٦° . واقصى زاوية لى هى ٥ درجات. وتحدد هذه الزاوية بمدى فقدان الاستقرار المرن فى الطوق المطاط. و"القوارن المرنة ذات الطوق الصندوقى" الواردة فى المواصفات، تنظمها صفوف تتكون من ١٤ نمطا لابعاد القوارن، باقطار للاطواق تتراوح بين ١٠٠ و ١٢٥٠ مم لنقل عزوم لى من ١٫٨ الى ٦٠٠٠ كجم٠متر.

القوارن المطاطية المعدنية (الشكل ٢٤ - ١٢، ب). فى قوارن هذه المجموعة يثبت المطاط (يلصق) تثبيتا متينا مع الاجزاء المعدنية علما بان الحمل يتوزع بانتظام على كل سطح تلامس المعدن مع المطاط، متيحا الفرصة امام استخدام الخواص المرنة للمطاط على خير وجه. وفى القوارن الصغيرة، الخاصة بعزوم اللى حتى ٦٥٠ كجم٠سم، يلصق المطاط مباشرة بالقارنتين النصفيتين. اما فى

القوارن الكبيرة (حتى ١٦٠٠ كجم.متر) فيلصق المطاط بالشفهات البينية التى تثبت بمسامير اللوالب فى انصاف القوارن .
وتعمل هذه القوارن دون ضجيج حتى فى حالة عكس اتجاه الدوران .
القوارن ذات اليايات الثعبانية (الشكل ٢٤ - ١٢، جـ) وهى اكمل القوارن ذات العناصر المرنة المصنوعة من الصلب. وتزود هذه القوارن بلولب ثعبانى الشكل يركب فى التجاويف بين اسنان الغلاف (العلبة) الذى يغطى كل من الياى والاسنان والمملوء بشحم التزييت.
وفى القوارن الكبيرة، بغرض تقليل مقطع الياى، تصف اسلاكه فى صفين او ثلاثة. وتبعا لرسم الاسنان، يمكن أن يكون لهذه القوارن منحنى مرونة على شكل خط مستقيم او منحنى.
القوارن ذات اليايات اللولبية الاسطوانية (الشكل ٢٤ - ١٢، د) تركب فى احدى القارنتين النصفيتين يايات اسطوانية (بالتداخل عادة). أما القارنة النصفية الاخرى فلها فى جبهتها حدبات تدخل بين اليايات فى النصف الاول بخلوص. وبهذا الشكل تنقل اليايات الاسطوانية عزم اللى من أحد نصفى القارنة الى النصف الآخر. وباختيار التداخل، والخلوص والمحددات، يمكن الحصول على مواصفة المرونة اللازمة. وهذه القوارن تستخدم فى الحالات التى يجب فيها مراعاة مواصفة المرونة المعطاة بصرامة. والعوامل الاساسية التى تعين هذه المواصفة (جساءة اليايات الاسطوانية، والخلوصات والمسافات بين المحددات) يمكن حسابها بسهولة، ثم المحافظة عليها اثناء التصنيع.

قوابض التحكم بالتعشيق

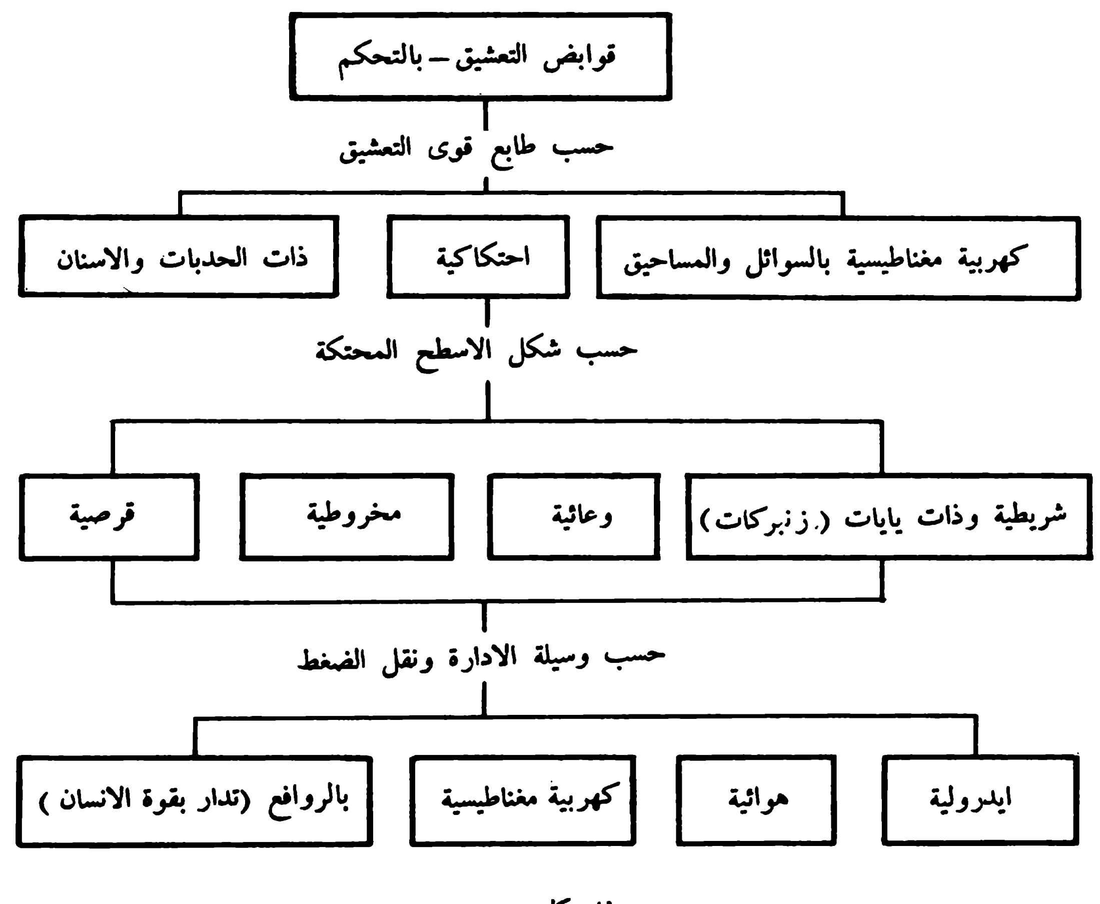
تستخدم قوابض لتعشيق الاعمدة اثناء دورانها بالنسبة لبعضها البعض (اثناء الدوران)، وفك هذا التعشيق، او أثناء الايقاف (فى السكون).
والشكل ٢٤ - ١٥ يوضح التقسيم العام لقوابض التحكم بالتعشيق.
ويطرح على الاعمدة وغيرها من الاجزاء الموصلة بقوابض التعشيق متطلبات عامة مشتركة وهى الاتحاد (التطابق) التام للمحاور. والانحراف عن هذا الشرط يسيىء الى عمل قوابض التعشيق من كل الانواع، وسرعان ما تصبح غير صالحة للاستعمال.
القوابض الاحتكاكية. من بين مختلف انواع قوابض التعشيق، حصلت القوابض الاحتكاكية على اوسع انتشار. وأحيانا تسمى للاختصار "بالتعشيقات". ففى السيارات، والجرارات والحفارات، ومرفاعات البكرات، وبعض ماكينات التشغيل، تعتبر الاليات الاساسية التى يعتمد عليها العمل المستمر للماكينة.

وفى عمل قابض التعشيق الاحتكاكى توجد اربعة اطوار :

الاول - التوصيل : وأثنائه تقترب الاسطح العاملة فى القابض وتضغط على بعضها البعض، ويتسارع العمود المنقاد الى أن يصل الى سرعة العمود القائد .

الثانى - القابض موصل : وفيه يدور كل من العمودين القائد والمنقاد بسرعة واحدة .

الثالث - الفصل : وفيه يرفع الضغط عن السطحين العاملين ويبعدان عن بعضهما البعض، ويتباطأ العمود المنقاد حتى يتوقف تماما .



الشكل ٢٤ - ١٥

الرابع - القابض مفصول : وفيه يكون السطحان العاملان مفصولين بواسطة خلوص؛ والعمود المنقاد فى حالة سكون ، والعمود القائد يدور او متوقف عن الحركة.

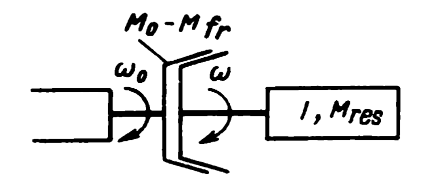
ولنستعرض ادناه هذه الاطوار.

يفصل القابض (الشكل ٢٤ - ٢٦) الدائرة الكينماتيكية الى قسمين : القسم القائد (المحرك) والمنقاد (الماكينة العاملة) .

وفى اللحظة السابقة للتوصيل يدور العمود القائد بسرعة زاوية ثابتة ω_0 ، أما العمود المنقاد فيكون فى حالة سكون، $\omega = 0$.

والشغل A المبذول من القابض اثناء فترة التوصيل يتكون من ثلاثة أقسام: A_1 - شغل الاحتكاك أثناء الزمن t_1 ، عندما تكون $\omega = 0$ ، أما عزم الاحتكاك فى القابض فيتزايد من $M = 0$ الى

$M = M_{res}$ ، حيث M_{res} هو عزم المقاومات الخارجية على العمود المنقاد ؛ A_2 ـ الشغل المبذول لزيادة طاقة حركة الكتل المرتبطة بالعمود المنقاد ، بما فى ذلك الفقد الناشئ اثناء الفترة الزمنية $t_2 - t_1$ ، عندما تزيد ω من الصفر الى ω_0 ؛ A_3 ـ الشغل المبذول للتقلب على المقاومات الخارجية على العمود المنقاد ، بما فى ذلك الفقد اثناء الزمن $t_2 - t_1$.



الشكل ٢٤ - ١٦

وقيم A_1 ، A_2 ، A_3 تحدد من معادلات الميكانيكا :

$$A_1 = \int_0^{t_1} M\omega_0 dt; \quad A_1 = \int_{t_1}^{t_2} (M - M_{res})\omega_0 dt.$$

$$A_3 = \int_{t_1}^{t_2} M_{res}\, \omega_0 dt. \qquad (24.1)$$

ويتلقى العمود المنقاد الجزء A' فقط من الشغل A ، الذاهب الى زيادة طاقة حركة الكتل المتحركة A_2' ، وشغل المقاومات الخارجية $A_3'(A' = A_2' + A_3')$ ، علما بان

$$A_2' = I \frac{\omega_0^2}{z}; \quad A_3' = \int_{t_1}^{t_2} M_{res}\omega dt, \qquad (24.2)$$

حيث I ـ عزم القصور الذاتى للكتل المتحركة، المرتبطة بالعمود المنقاد المنقول الى محور هذا العمود . وبناء عليه فان الفاقد فى الاحتكاك

$$A_{fr} = A - A' = A_1 + A_2 + A_3 - A_2' - A_3'. \qquad (24.3)$$

وعند تعيين A_f (وهو الاحتكاك البسيط فى الحالة العامة) تعترضنا صعوبات سببها تكامل المعادلتين (24.1) ، (24.2)، حيث أن قوانين التغير مع الزمن للمقادير المراد تكاملها تكون فى كثير من الاحيان غير معلومة.

ولتعيين A_f نفترض ابسط الفروض المستخدمة كثيرا أثناء التصميم : تزايد عزم الاحتكاك فى القابض يحدث بسرعة كبيرة بحيث يمكن اعتبار $t_1 \approx 0$ ، $M = \text{const} = M_{fr}$ ؛ وعزم المقاومات الخارجية اثناء التوصيل لا يتغير $(M_{res} = \text{const})$.

وطابع حركة العمود المنقاد أثناء الفترة الزمنية $t_2 - t_1$ يعبر عنه بمعادلة كمية الحركة

$$I\, d\omega = (M_{fr} - M_{res})dt.$$

وفى الحالة قيد البحث، تكون عجلة التسارع ثابتة .

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{M_{fr} - M_{res}}{I}$$

والزمن

$$t_2 = \frac{I\omega_0}{M_{fr} - M_{res}} .$$

وهكذا فان

$$\left.\begin{aligned} A_1 &= 0; \\ A_2 &= (M_{fr} - M_{res})\omega_0 t_2 = I\omega_0^2; \\ A_3 &= M_{res}\,\omega_0 t_2 = I\omega_0 \frac{M_{res}}{M_{fr} - M_{res}}; \\ A_2' &= I\frac{\omega_0^2}{2}; \quad A_3' = I\frac{\omega_0^2}{2} \cdot \frac{M_{fr}}{M_{fr} - M_{res}}. \end{aligned}\right\}$$

وبالتعويض عن قيم A_1 ، A_2 ، A_3 ، A_2' ، A_3' فى المعادلة (24.3) ، نحصل على أن الشغل المفقود فى الاحتكاك عند توصيل القابض

$$A_{fr} = I\frac{\omega_0^2}{2} \cdot \frac{M_{fr}}{M_{fr} - M_{res}} . \qquad (24.4)$$

ومن الصيغة الاخيرة يمكن الخروج باستنتاجات هامة لتصميم القوابض الاحتكاكية . فعندما تكون السرعة ω_0 معلومة ، يلزم لتقليل الفاقد فى الاحتكاك ، تقليل I بقدر الامكان ، وزيادة الفرق ($M_{fr} - M_{res}$) اثناء الادارة (مثلا التوضيل بدون حمل ويعنى أن $M_{res} \approx 0$) . الا أن زيادة الفرق ($M_{fr} - M_{res}$) تؤدى الى زيادة متناسبة لعجلة التسارع وقوى القصور الذاتى . وبالقيمة الحدية لهذه القوى تتعين اكبر قيمة للمقدار ($M_{fr} - M_{res}$) .

وعلى القابض الموصل أن ينقل الى العمود المنقاد عزم اللى من العمود القائد علما بأن الانزلاق بينهما غير مسموح به أثناء التشغيل الاعتيادى *. ولنعين أقصى عزم لى بقدر القابض على نقله ، أى العزم الحدى الذى يبدأ وعنده وقوع الانزلاق بين نصفى القابض.

عندما تضغط قوة P على سطحين لهما شكل حلقتين مسطحتين مثلا ، نصفا قطريهما r_i (الداخلى) ، r_0 (الخارجى) ، يحدث بينهما احتكاك . وعزم قوى الاحتكاك يمكن التعبير عنه

---

* فى الصفحة ٤٨٩ نستعرض عمل القابض الاحتكاكى كجهاز، واق من زيادة الحمل .

بالصيغة :

$$M_{fr} = f P r_{red}, \tag{24.5}$$

حيث f ـ معامل الاحتكاك بين الاسطح المتقارنة ؛
r_{red} ـ نصف القطر المكافئ* لقوى الاحتكاك بين سطحين مضغوطين ، ويمكن أخذه مساويا لنصف القطر المتوسط :

$$r_{red} = r_m = 0.5(r_{out} + r_{in})^{**}.$$

وبالتعويض فى المعادلة (24.5) عن مقدار مساحة زوج واحد من الاسطح المحتكة $S_{fr} = 2\pi r_m b$ ، وبالضغط النوى المتوسط $p = \frac{P}{S_{fr}}$ ، نحصل على :

$$M_{fr} = f P r_m = fp S_{fr} r_m. \tag{24.6}$$

واذا ما كان عدد أزواج الاسطح المحتكة هو z ، وعند وجود قيم مختلفة لـ f ، P ، r_m ، يكون عزم اللى المنقول عن طريقها

$$M_{fr} = \sum_{i=1}^{z} f_i P_i r_{mi} = \sum_{i=1}^{z} f_i p_i S_{fri} r_{mi} \tag{24.7}$$

والصيغة (24.7) تعتبر الاساس فى حساب القوابض الاحتكاكية.
وفى عملية فصل القابض توجد فواقد يمكن تعيينها بنفس الطريقة التى عينت بها الفواقد فى حالة التوصيل. وهذه الفواقد غير كبيرة وليست لها أهمية عملية ، وغالبا ما تهمل. والمطلوب الاساسى فى القابض المفصول هو عدم وجود احتكاك بين أجزائه أثناء دورانها النسبى . وتظهر صعوبات خاصة بسبب ذلك فى القوابض العديدة الاقراص.
واسباب الاحتكاك بين اقراص القابض المفصول يمكن ان تكون :
أ ـ التواء الاقراص (اعوجاجها) وتلامسها بعد الفصل ؛ ب ـ تلاصق الاقراص بسبب وجود زيت تزييت بين اسطحها .
ويجب تجنب السبب الاول بالتصنيع الدقيق للاقراص، وبازالة اعوجاجها اثناء التشغيل ، وبالخلوصات الكافية بين الاقراص فى حالة الفصل ؛ والسبب الثانى ، بواسطة الفصل القهرى بين الاقراص عند فصل القابض.

---

* قيمة r_{red} تعتمد على قانون توزيع قوى الاحتكاك على عناصر الاسطح المحتكة. وتحوى المراجع معطيات تثبت ان الافتراضات المختلفة بالنسبة لهذا القانون تعطى نتائج متقاربة وتسمح كلها باعتبار $r_{red} = r_m$ للاغراض الحسابية.

ومن المفيد أيضا طرد الزيت من بين اقراص القابض المفصول. وعلاوة على تخفيض الاحتكاك بين الاقراص، يتم التوصل الى ذلك أيضا بواسطة التبريد المكثف للاسطح المحتكة.

ويجدر تصنيف القوابض الاحتكاكية وفق الفرض منها حسب الصفات التالية. مواد وشكل وعدد الاسطح المحتكة، طريقة ضغطها على بعضها البعض (آلية التحكم فى القابض).

وخصائص عمل القوابض الاحتكاكية التى استعرضناها، والصيغتان التى استنتجناهما (24.5)، (24.6)، تسمح بصياغة عدة متطلبات خاصة، يجب أن تطرح على مواد الاسطح المحتكة:

أ ـ المعامل العالى للاحتكاك الذى يحتفظ بقيمة ثابتة فى نطاق واسع بدرجة كافية للسرعات، ودرجات الحرارة والاحمال؛

ب ـ المتانة الميكانيكية والحرارية الكافية؛

جـ ـ التآكل غير الكبير بالاحتكاك، وعدم وجود العض؛

د ـ توصيل الحرارة العالى، الذى يضمن التخلص السريع من الحرارة المتولدة على الاسطح المحتكة.

والجدول ٢٤ ـ ١ يتضمن المواصفات الخاصة بأكثر المواد الاحتكاكية انتشارا.

الجدول ٢٤ ـ ١

الموصفات الخاصة باكثر المواد الاحتكاكية انتشارا

مواد الاسطح المحتكة	ظروف العمل	معامل الاحتكاك f	الضغط النوعى [p] كجم/سم^٢	درجة الحرارة القصوى مئوية
صلب مقسى ـ صلب مقسى	بالتزييت	٠ر٠٨	٦ ـ ٨	٢٥٠
حديد زهر ـ حديد زهر أو صلب	بالتزييت	٠ر٠٦	٦ ـ ٨	٢٥٠-٣٠٠
	على الجاف	٠ر١٥	٢ر٥-٤	٢٥٠-٣٠٠
برونز ـ حديد زهر أو صلب	بالتزييت	٠ر٠٥	٤	١٥٠
اسبستوس مكبوس ـ حديد زهر أو صلب	على الجاف	٠ر٣	٢ ـ ٣	١٥٠-٢٠٠
	على الجاف	٠ر٤	٣	٥٥٠
سيراميك معدني ـ حديد زهر أو صلب	بالتزييت	٠ر١	٨	٥٥٠

والقوابض التى يكون فيها كلا السطحين المحتكين بمثابة سطحين معدنيين (حديد زهر/حديد زهر ، صلب/صلب، برونز/صلب) ، فى العادة تتطلب مع عطلها المكثف تزييتا وفيرا (وخصوصا زوج الصلب/الصلب ، والبرونز/الصلب)؛ فعند العمل على الجاف يكون تآكلها بالاحتكاك كبيرا بدرجة لا يسمح بها . ونتيجة لان معامل الاحتكاك لهذه الازواج صغيرا نسبيا ، تكون ابعادها كبيرة او عدد الاسطح المحتكة فيها كبيرا . ويصبح هذا قابلا للتحقيق عمليا فقط فى حالة القوابض المتعددة الاقراص، حيث تستخدم بنجاح ازواج الاحتكاك المعدنية .

والسعى لتلافى العيوب التى تتميز بها المواد الاحتكاكية المعدنية قد ادى الى تكوين مواد يدخل فى تركيبها الاسبيستوس والسيراميك المعدنى من مساحيق المعادن وغير المعادن . وهذه المواد تسمح بتقليل ابعاد القوابض، وهى اكثر مقاومة للتآكل ، ويمكنها ان تعمل سواء على الجاف او بالتزييت .

وحسب وضع وشكل الاسطح المحتكة، تنقسم القوابض الاحتكاكية الى قوابض قطرية (الاسطح الاحتكاكية فيها اسطوانية) ومحورية (الاسطح المحتكة فيها اما مستوية أو مخروطية) . وعلاوة على ذلك تقسم القوابض حسب تركيبها وعدد اسطحها المحتكة . والشكل ٢٤ - ١٧ يبين الانواع الاساسية للقوابض الاحتكاكية.

القوابض الاحتكاكية

	محورية		قطرية
قرصية	أحادية القرص	ذات الحذاء	باحذية خارجية
	متعددة الأقراص		باحذية داخلية
مخروطية	بمخروط واحد	شريطية وزنبركية	بحلقة ضاغطة
	بمخروطين		بشريط شاد

الشكل ٢٤ - ١٧

وآلية ادارة القابض يجب ان تستجيب للمتطلبات الاساسية التالية :

١ - توصيل القابض تدريجيا ، الامر الذى يضمن تزايد سرعة الماكينة حسب القانون المعطى (مثلا بالنسبة لسيارات نقل الركاب وسيارات الترولل ، يجب الا تزيد عجلة التسارع عن ٤ أمتار/ثانية ٢ عندما يكون هناك ركاب وقوف) ؛

٢ - التوزيع المنتظم للضغط على كل مساحة الاسطح المحتكة ؛

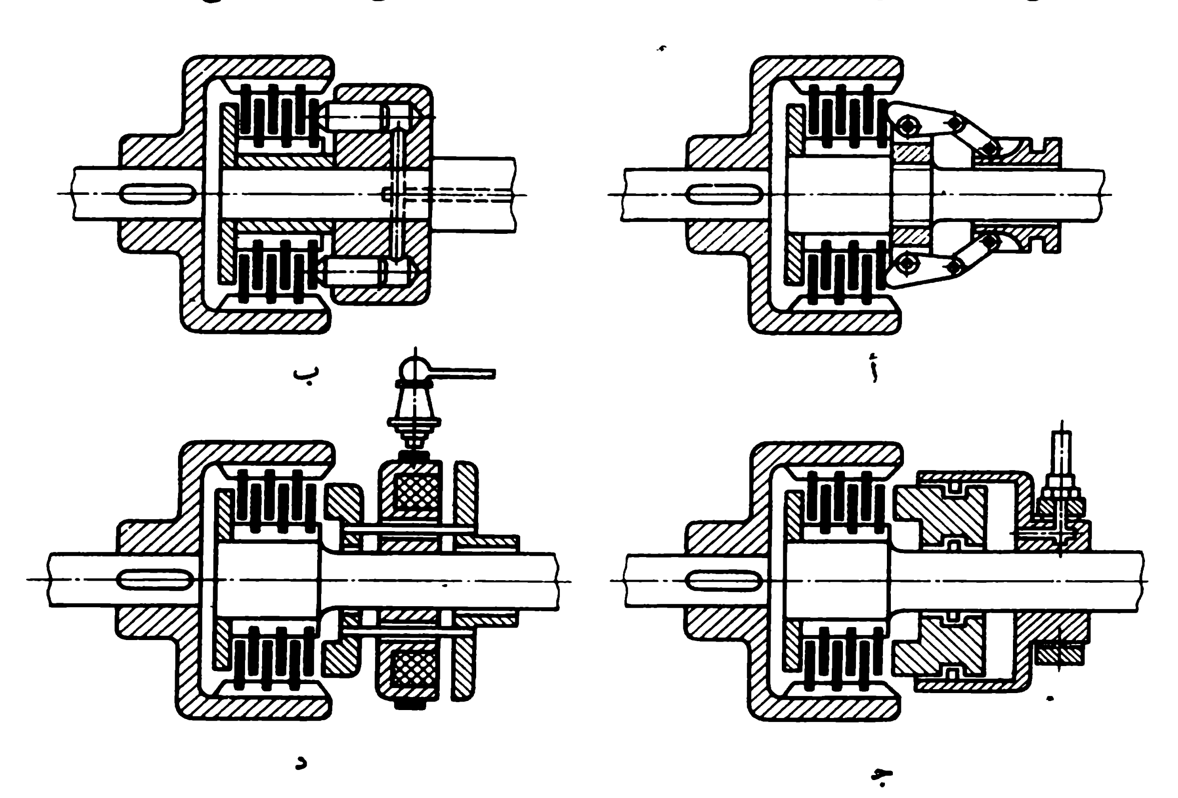
٣ - يجب الا تزيد القوى اللازمة للادارة والمشوار (تبعا لنوع

الماكينة) : فى الرافعة اليدوية، عن ٦ - ١٥ كجم، ٢٠٠ - ٢٥٠ مم، أما بالنسبة للبدال (الدواسة) ، فيجب الا يزيد هذات البارامتران عن ٨ - ٣٠ كجم، ١٠٠ - ٢٠٠ مم على التوالى ؛

٤ - امكانية ضبطها بحيث لا تقل مقدرة القابض على العمل مع تآكل الاسطح المحتكة، والا تزداد صعوبة تسييرها ؛

٥ - كفاءة عملها عند مختلف ظروف الاستخدام (اختلاف فصول السنة ودرجات الحرارة . . الخ) .

وأهم العلائم الكامنة فى أساس تقسيم ميكانزمات الادارة: نوع الطاقة المستخدمة فى الادارة، ووسيلة نقل الجهد الى الاسطح المحتكة.



الشكل ٢٤ - ١٨

وحسب نوع الطاقة تنقسم آليات ادارة القوابض الى آليات عاملة بالطاقة العضلية ، والى تلك التى تستخدم طاقة محرك الماكينة أو مصدر آخر. وفى الماضى كانت كل القوابض تدار بالطاقة العضلية، اما الآن فان هذه الطاقة لا تستخدم الا فى حالات قوى التوصيل الضئيلة فقط. اما فى الحالات الاخرى، فتسهل عملية الادارة وتبسط باستخدام طاقة مساعدة تنقل الى الالية لهذا الفرض.

وحسب وسيلة نقل الجهد الى الاسطح المحتكة فى القابض تنقسم آليات ادارتها الى المجموعات التالية (الشكل ٢٤ - ١٨) :

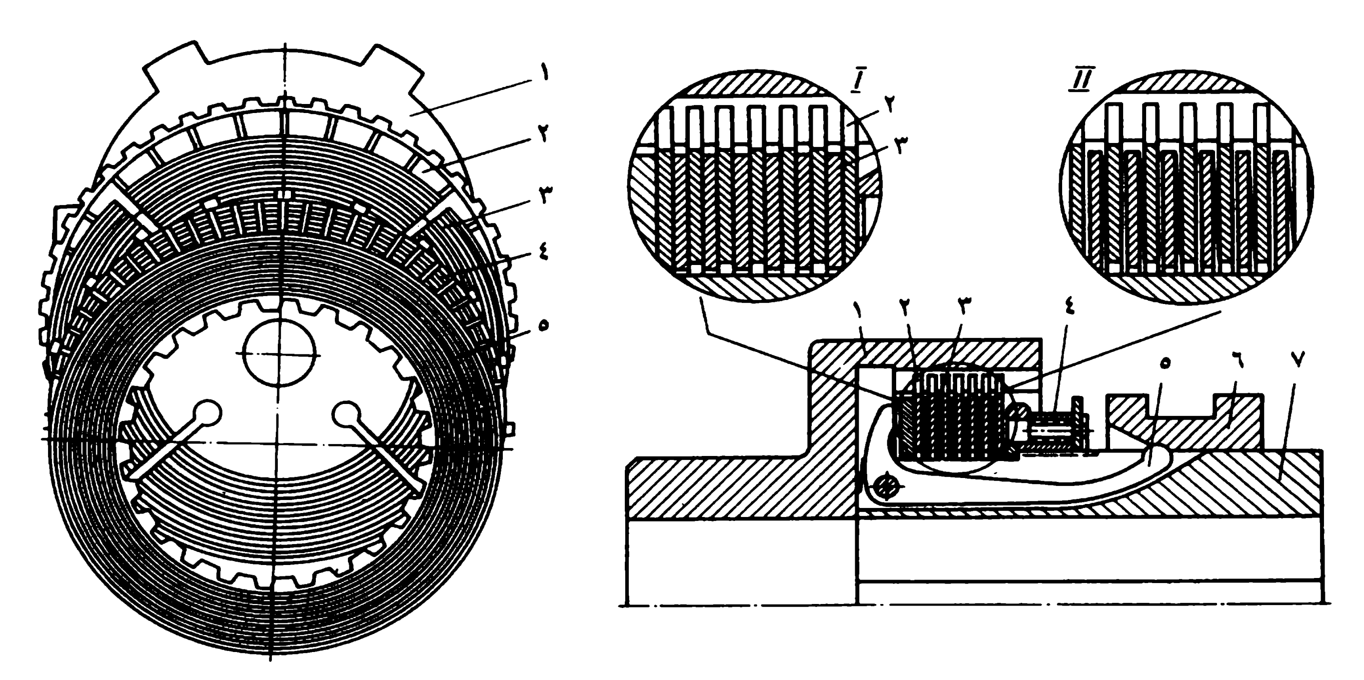
أ - آليات الروافع (وكذلك الكريات والحدبات) ؛ ب - الآليات هوائية ، جـ - آليات ايدرولية ؛ د - آليات كهرومغناطيسية.

والشكل ٢٤ - ١٨ يبين قابضا احتكاكيا متعدد الاقراص باربعة انواع مختلفة لاليات الادارة، اى لكل وسيلة من وسائل ضغط الاسطح المحتكة المذكورة اعلاه.

وكان نقل الجهد بواسطة الروافع هو اكثر الوسائل انتشارا فى حالتى الادارة اليدوية (بالقدم). ولقد تقلص فيما بعد استخدامها وهى الآن تكاد لا تستخدم فى ادارة القوابض الكبيرة.

وسوف نستعرض من بين الانواع الكثيرة للغاية من القوابض الاحتكاكية المستخدمة، فقط القوابض القرصية والكهرومغناطيسية التى حصلت على اكثر انتشار.

والاقراص المصمتة أو ذات الكسوة اسهل فى تصنيعها من العناصر ذات الاشكال الأخرى. وبتغيير عدد الاقراص من ابعاد واحدة يمكن



الشكل ٢٤ - ٢٠

الشكل ٢٤ - ١٩

الحصول على قوابض لنقل عزوم لىّ مختلفة. ويسهل بفضل ذلك توحيد القوابض قياسيا، ومركزة انتاجها.

وأحجام القوابض القرصية أقل واستبدال الاجزاء المتآكلة بالاحتكاك اسهل فيها.

وبسبب هذه المزايا تستخدم القوابض القرصية استخداما واسعا فى السيارات والجرارات وماكينات التشغيل، وغيرها. وكوسيلة للتعشيق فى كل سيارات الركوب الخفيفة الحديثة، تستخدم القوابض وحيدة القرص.

والشكل ٢٤ - ١٩ يبين قابضا متعدد الاقراص يستخدم فى ماكينات التشغيل. وفى الوضع *I* يكون القابض موصلا، فالاقراص ٢ لنصف القابض الخارجى ١، والاقراص ٣ لنصف القابض الداخلى ٧ مضغوطة على بعضها البعض بمساعدة الروافع الصغيرة ٥، والجلبة ٦ وفى الوضع *II* يكون القابض مفصولا. الجلبة ٦ مزاحة الى اليمين، والروافع الصغيرة ٥ دارت حول محاورها وازيل الضغط عن الاقراص. ومن خصائص التصميم المبين يعتبر الشكل الموجى الخاص للاقراص الداخلية. وبفضل ذلك، الاقراص تنفصل عن بعضها حتما فى

حالة الفصل ، وتقل بذلك فواقد الاحتكاك بين الاقراص فى القابض المفصول . وتقوم الحلقة ٤ المركبة على الجزء الملولب من نصف القابض ٧ بوظيفة ضبط وضع نصف القابض .

وتعتبر الاقراص هى العناصر الاساسية فى القوابض القرصية، تلك الاقراص التى تتكون على اسطحها الجانبية قوى الاحتكاك . والشكل ٢٤ - ٢٠ يبين اكثر اشكال الاقراص انتشارا . والثقوب والمجارى والفتحات تساعد على التزييت الافضل والتبريد ، وتقليل اعوجاج الاقراص عند ازدياد درجة حرارتها ، كما تساعد على ازدياد نعومة توصيل القابض . وعندما يكون تردد (تكرار) عملية التوصيل قليلا ، وعند الظروف السهلة نسبيا فى عمل القابض، تصنع اقراصه من الصلب الاملس ١ ، أما فى القوابض ذات الانزلاق المتكرر كثيرا ولفترات طويلة تستخدم الاقراص ذات الكسوة من السيراميك المعدنى ، وبفتحات قطرية ٢ .

ولغرض التبريد المكثف للاقراص فى وضع الفصل ، وطرد زيت التزييت بالعصر اليسير فى نفس الوقت عند التوصيل ، تقوم بذلك قناة حلزونية ٣ ، ٤ ، ٥ مشقوقة فى الاقراص. ولكى يقلل اعوجاج الاقراص ، تزود الاخيرة بشقوق قطرية ٣ . وتنقل الاقراص عزم اللى بمساعدة النتوءات الموجودة على الدوائر الخارجية ١ ، ٢ ، ٤ والداخلية ٥ . وتدخل هذه النتوءات فى تجاويف بشكل مناظر على نصفى القابض الداخلى والخارجى .

ونتيجة للسمك الصغير للاقراص تعتبر هذه الوصلات اكبر اجزاء القابض تحميلا .

ويطلق اسم القوابض الكهرومغناطيسية ، على القوابض الاحتكاكية التى يكون فيها انضغاط الاسطح المحتكة بواسطة قوى جذب المغناطيس الكهربى (ملف كهرومغناطيسى) ، الداخل فى تصميم القابض .

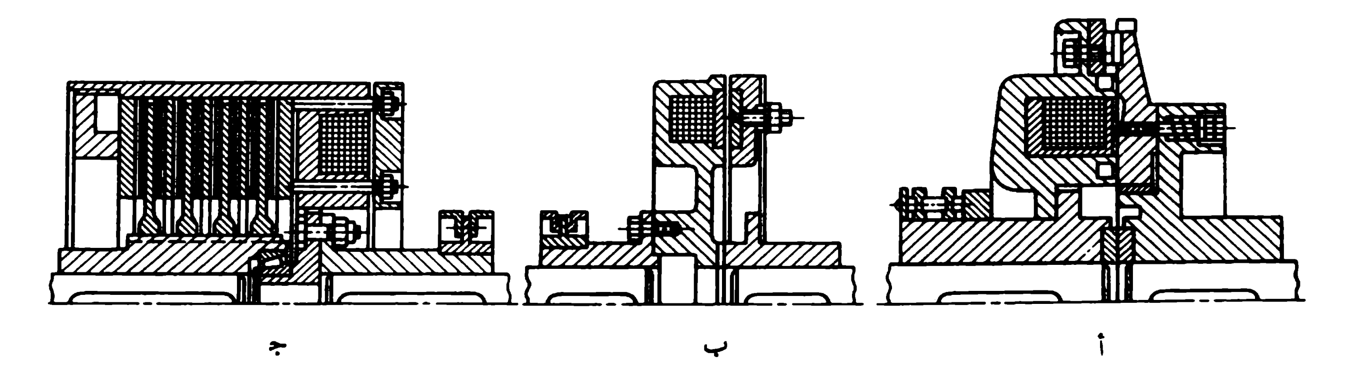
وعلى الرغم من أن وجود القوابض الكهرومغناطيسية التى تكون اسطحها المحتكة من مختلف الاشكال ، هو امر محتمل ، بل وواقعى من حيث المبدأ ، الا أن اوسعها انتشارا هى القوابض الكهرومغناطيسية ذات الاقراص .

والتصاميم النمطية للقوابض الكهرومغناطيسية مبينة فى الشكل ٢٤ - ٢١ .

والاجزاء الاساسية فى القابض هى : المنظومة الكهرومغناطيسية التى تتكون من جسم المغنطيس الكهربى ، والملف وعضو الجذب ومجموعة الاسطح المحتكة ـ الاقراص الاحتكاكية . ويوصل التيار المستمر الى الملف، المركب فى التجويف الحلقى فى الجسم بمساعدة حلقتين تنزلق عليهما فرشتان . وعند توصيل التيار الى الملف يتجذب عضو الجذب الى الجسم وتتضاغط الاسطح المحتكة على بعضها البعض . ومقدار عزم الاحتكاك الحدى يجرى تنظيمه

بتغيير تيار الاثارة . وعند قطع التيار يرجع القلب الى مكانه الاول بواسطة يايات فاصلة وتبعا لذلك تصبح الاقراص حرة .

وفى القابض المبين فى الشكل ٢٤ - ٢١ ،أ ينزلق عضو الجذب مع أحد الاسطح المحتكة على طول السرّة الثابتة، وذلك بازاحتهما فى الاتجاه المحورى. وحيث أن الازاحة المحورية للقلب غير كبيرة، يمكن التوصل اليها على حساب المطيلية المرنة للقرص الذى يربط عضو الجذب مع السرة . وفى هذا يصبح القابض اقصر



الشكل ٢٤ - ٢١

وأصغر وزنا (انظر الشكل ٢٤ - ١٢ ، أ، ب)، أما قطر القابض العديد الاقراص فيصبح أقل (انظر الشكل ٢٤ - ٢١ ، جـ).

حساب القوابض الاحتكاكية. يمكن أن يكون حساب قوابض التعشيق الاحتكاكى متباينا . فبالنسبة للقوابض العاملة اساسا بنظام استاتيكى، تتقيد الحسابات بتعيين ابعاد الاسطح المحتكة وآلية الضغط ؛ أما اذا كان القابض يعمل اكثر الوقت وفق نظام ديناميكى ، مضافا الى ذلك التكرار العديد لعمليات الفصل والتوصيل، فان من الضرورى اختباره على مدى زيادة درجة الحرارة ؛ وبالنسبة للماكينات الموصفة بدقة من حيث توقيت دورة عملها ترسم العلاقة $M_t = F(t)$ التى تبين طابع عملية عمل القابض. وترد فيما يلى حسابات أبعاد الاسطح المحتكة والاليات الضاغطة. وحيث أنه للاسطح المحتكة من طراز واحد ، يمكن استعمال أى من انواع الاليات الضاغط (انظر الشكل ٢٤ - ١٨) وبالعكس، فقد عرضنا هذه الحسابات منفصلة .

وعزم اللى الحسابى $M_{t\,des}$ ، يحدد انطلاقا من عزم اللى الاقصى للمحرك $M_{m.\,max}$ ،او عزم المقاومات الاستاتيكية M_{st} أو الديناميكية M_d للجزء المنقاد من عمود الادارة:

$$M_{t\,des} \geqslant M_{mot\,max};\ M_{t\,des} \geqslant M_{st} + M_d$$

واكبر عزم احتكاك يحدث فى القابض يحسب من الصيغة (24.7) . وعزم اللىّ الحسابى $M_{t\,des}$ يرتبط ب M_{fr}

بالعلاقة

$$M_f = \beta M_{t\,des}. \qquad (24.8)$$

ومعامل أمان التعشيق β يجب ان يضمن عمل القابض بدون انزلاق فى المواقف العفوية التى لا تدخل فى الاعتبار عند الحساب (مثل زيادة الحمل عن الحد المسموح به لمدة قصيرة، او تقليل معامل الاحتكاك f او نصف قطره r_m ،عن القيمتين الحسابيتين نتيجة لتغير ظروف التماس بين الاسطح العاملة)

القيم β

لماكينات قطع المعادن .... ٢٦ر١ - ٥ر١
للسيارات .... ٢ر١ - ٥ر١
للجرارات .... ٠ر٢ - ٥ر٢
لآليات المرفاعات .... > ١٥ر١

والقيم الاكبر لـ β غير مرغوب فيها حيث انها تؤدى الى أحمال ديناميكية اعلى من اللازم عند بدء تشغيل الماكينة .
وبأخذ العلاقة (24.8) فى الاعتبار ، تأخذ الصيغة الحسابية الاساسية (24.7) الشكل التالى :

$$M_{t\,des} = \frac{1}{\beta}\sum_{i=1}^{z} f_i P_i r_{mi} = \frac{1}{\beta}\sum_{i=1}^{z} f_i p_i S_{fri} r_{mi} \qquad (24.9)$$

وبناء على ذلك فانه لتحديد ابعاد وعدد الاسطح المحتكة (S_{fr}, r_m, z) يلزم فى البداية اختيار قيمة f ، p ، β . وللازواج المختلفة للاسطح المحتكة نورد فى الجدول ٢٤ - ١ قيم f ، p . وحدود تغير هذه القيم كبيرة نسبيا .
وحيث أن f ، p ، β تعتبر قيما تجريبية، فان اكثر قيمها وثوقا يمكن الحصول عليها فقط من معطيات عمل القوابض من التصاميم المناظرة، بحيث يكون استخدامها فى ظروف مشابهة تقريبا الظروف لتصميم القابض . واذا عرفت هذه المعطيات حول قيم $M_{t\,des}$ ، S_{fr} ، r_m والخاصة بالقابض الموجود والمستخدم تطبيقيا استخداما طيبا ، يمكن العثور على قيمة $\frac{fp}{\beta}$ ، ومن الصيغة (24.9) ، نحسب S_{fr} ، r_m ، z بالنسبة للقابض الجديد المعلوم فيه $M_{t\,des}$. علما بأنه لاضرورة لتحديد f ، p ، β ، الذى يتطلب كقاعدة عامة اجراء بحث خاص *.

---

* لقوابض ماكينات التشغيل ذات الاقراص المصنوعة من الصلب والمغمورة فى الزيت $\frac{fp}{\beta} \approx 0.3 \div 0.35$ ؛ وللقوابض ذات اسطح الاحتكاك المصنوعة من الاسبستوس على اسطح من الصلب بدون تزييت تكون $\frac{fp}{\beta} \approx 0.5$.

وبعد اختيار القيم f ، p ، β ، كما سبق وأن ذكرنا ، حسب الصيغة (24.9) نعثر على S_{fr} معتبرين أن $z = 1$:

$$S_{fr} r_m = 2\pi b r_m^2 = \frac{\beta M_{t\ des}}{fp}, \qquad (24.10)$$

حيث $b = (r_{out} - r_{in})$ عرض القرص.
وفى العادة تكون النسبة بين ابعاد الاقراص الاحتكاكية :
$\frac{r_{in}}{r_{out}} = 0.6 \div 0.8$ وبناء عليه فان

$$\frac{b}{r_m} = \frac{r_{out} - r_{in}}{0.5(r_{out} + r_{in})} \approx 0.5 \div 0.2.$$

والعرض الكبير نسبيا $(b > 0.5\ r_m)$ غير مرغوب فيه بسبب التآكل غير المنتظم بالاحتكاك، وعدم انتظام زيادة درجة الحرارة وبسبب اعوجاج الاقراص العريضة.
وفى القابض عديد الاقراص ذى العدد z من ازواج الاسطح المحتكة، عندما يتساوى الضغط p على كل الاسطح الاحتكاكية تأخذ الصيغة (24.9) الصورة

$$M_{t\ des} = \frac{f}{\beta}\ zPr_m = \frac{fp}{\beta}\ zS_{fr}r_m = 2\pi\ \frac{fp}{\beta}\ zbr_m^2 \qquad (24.11)$$

ويأخذ شرط ثبات الضغط p للقوابض الموصلة اثناء العمل فاننا نبعد بذلك عن الصورة الحقيقية للظاهرة، حيث أننا لا ندخل فى اعتبارنا عندئذ احتكاك الاقراص فى مجارى الجسم والعمود اثناء عملية التوصيل .
واذا ما كان الضغط على زوج الاسطح المحتكة الاقرب الى آلية الضغط $P_1 = P$ ، وعلى الثانى $P_2 = P(1 - 2ff_1)$ ، وعلى الاخير $P_z = P(1 - 2ff_1)^{z-1}$ ، حيث f_1 - معامل الاحتكاك بين الاقراص ومجاريها .
واذا ما جمعنا الضغط على كل الاسطح نحصل بدلا من zP المأخوذ بها فى المعادلة (24.11) ، على الصيغة

$$\left[\frac{1 - (1 - 2ff_1)^z}{2ff_1}\right] P < zP.$$

وفى حالة القيم الصغرى لحاصل الضرب ff_1 والعدد الصغير للاقراص z تصبح القيمة داخل القوس الكبير قريبة من z . آما اذا كان عدد الاقراص كبيرا بأن تأثير احتكاك الاقراص يصبح ملموسا . وبناء عليه فانه فى حالة العدد الكبير للاقراص يتزايد عزم اللى المنقول بواسطة القابض لا بالنسبة لعددها بل بمعدل أبطأ .

ولهذا السبب ، ونتيجة للتبريد الردىء للاقراص البينية فى القوابض الموصلة اثناء الدوران ، يكون من النادر ان يزيد عدد الاقراص عن ١٠ - ١٣ قرصا * .

والنسب بين ابعاد الاسطح المحتكة فى القوابض المخروطية، يمكن أخذها كنفس النسب المعمول بها فى القوابض القرصية. والصيغة (24.11) محققة ايضا بالنسبة للقوابض المخروطية بشرط ان P الضغط العمودى على رواسم المخروط وتربط بالقوة المحورية P_a النسبة :

$$P_a = P \sin \alpha \tag{24.12}$$

وعند التعمق اكثر فى تحليل عمل القوابض المخروطية، يجب مراعاة وجود اسفين فراغى وليس مستو فى تلك القوابض . فعند توصيل القابض المخروطى اثناء الدوران يدخل المخروط الداخلى فى الخارجى كما لو كان لولبا ، ويضغط على سطحه بشكل اكبر مما لو كان التوصيل فى حالة السكون . وبناء على ذلك فان الجهد اللازم للتوصيل فى الحالة الأولى يكون اكبر مما يلزم للحالة الثانية. وعلاوة على ذلك ففى كلتا الحالتين، يكون توصيل القابض أثناء الدوران اسهل مما هو عليه الحال اثناء السكون . ولكى لا يلولب المخروط الداخلى فى الخارجى اكثر من اللازم اثناء التوصيل ، يجب الا تقل الزاوية α عن ١٠ درجات، وفى العادة، لتجنب القفش تؤخذ الزاوية α = ١٠ - ١٥° .

وبالنسبة للقوابض القطرية ذات الضغط النوعى الثابت p ، على كل السطح ، تأخذ الصيغة (24.11) الشكل التالى :

$$M_{t\,des} = \frac{fp}{\beta} = S_{fr} r_0 = 2\pi \frac{fp}{\beta} b r_0^2 \tag{24.13}$$

حيث r_0 - نصف قطر الطوق (سطح الاحتكاك) ؛
$S_{fr} = 2\pi r_0 b$ - مساحة سطح الاحتكاك .

وفى هذه الحالات يكون عرض الطوق b مقيدا فقط بجساءة البكرة.

والشغل المبذول على الاحتكاك عند توصيل وفصل القابض يصاحبه تآكل وزيادة فى درجة حرارة الاسطح المحتكة . وللتقريب الاول يمكن اعتبار ان كل الشغل المبذول فى الاحتكاك يتحول الى حرارة .

ويمكن بحث ارتفاع الحرارة فى القابض مع توزيع درجات الحرارة فى الاماكن المختلفة ، تجريبيا فقط . وسبب هذا هو تعقيد شكل اجزاء القابض وصغر مدة عمليات التسخين .

---

* فى القوابض الواقية المضغوطة على اقراص ثابتة (غير متحركة) يمكن ان يزيد عدد الاسطح المحتكة عن ذلك .

ويمكن استخدام طريقة الحساب المبينة بعد للتقييم المقـــــارن لتسخين القابض مع بعض درجات الحرارة المتوسطة .

وحيث أن فترة توصيل القابض قصيرة، يمكن اهمال الاشعاع فـــى الوسط المحيط، ويمكن اعتبار ان حرارة الاحتكاك اثناء فتـــــرة التوصيل تنفق فقط لزيادة حرارة القابض . وبذلك تكون الموازنـــة الحرارية عند نهاية اول توصيل للقابض هى

$$\frac{A}{427} = cG(\nu_1 - \nu_{air})_{k\ cal},$$

حيث A - الشغل المبذول فى الاحتكاك عند توصيل القابض، كجم٠متر ؛

c - السعة الحرارية النوعية لمادة الاجزاء المسخنة ،كيلوكالورى / كجم٠ درجة مئوية (وهى للصلب والحديد الزهر ≈ ١٢ر٠) ؛

G - وزن هذه الاجزاء ، كجم ؛

ν_1 - درجة حرارة القابض فى نهاية فترة والتوصيل الاول ، درجـــة مئـــويـــــة ؛

ν_{air} - درجة حرارة الهواء المحيط - درجة مئوية.

ومن المعادلة الاخيرة ينتج أن درجة الحرارة فى نهاية اول توصل :

$$\nu_1 = \nu_{air} + \frac{A}{427\ cG} = \nu_{air} + \frac{A}{427 \times 0.12\ G} = \nu_{air} + 0.02\ \frac{A}{G}$$

ويبرد القابض اثناء عملـه بسبب انتشار .الحرارة ؛ وخلال فتــرة زمنية dt يكون انتقال الحرارة

$$dQ = \alpha S_{cool}(\nu_1 - \nu_{air})\,dt\ \text{k. cal},$$

حيث α - معامل انتقال الحرارة كيلوكالورى/ متر٢ ٠ ساعة٠ درجـــــة مئوية ؛ وسوف معتبره مقدارا ثابتا ؛

α = ١٠ ÷ ٢٠ تبعا لسرعة دوران القابض؛

S_0 - السطح المراد تبريده بالمتر المربع .

وباستمرارنا فى هذا التحليل نحصل على انه بعد عدد كبيـــر كاف ($n \to \infty$) من التوصيـــــلات تكون درجة حرارة القابض

$$\nu_\infty = \nu_{air} + 0.02\ \frac{A}{8\alpha S_{cool} t}, \tag{24.14}$$

حيث t - الزمن بين التوصيلين المتتاليين للقابض .

وعند المقارنة بين قوابض ذات تصميم واحد ، تعمل فى ظـــــروف متساوية يطرأ التغير فى الصيغة الاخيرة فقط على المقدارين A ، S_{cool} .

لذا ، اذا ما كانت النسبة $k_{cool} = \frac{A}{S_{cool}}$ ثابتة فى كل مـــــن القوابض الموجودة، والمراد تصميمها ، يمكن افتراض ان درجة حرارة

تسخين هذه القوابض ستكون واحدة أيضا . واذا ما افترضنا أن السطح المراد تبريده S_{cool} متناسب مع مساحة الاسطح المحتكة ΣS_{fr} ، لحصلنا على المعامل التجريبى التالى الذى كثيرا ما يستخدم فى الحسابات التطبيقية

$$k'_{cool} = \frac{A}{\Sigma S_{fr}} \tag{24.15}$$

ولأخذ شدة تشغيل القابض فى الاعتبار ، يؤخذ فى بسط الصيغة الخاصة بحساب k'_{cool} بدلا من A ، وهو الشغل المبذول على الاحتكاك فى حالة توصيل القابض لمرة واحدة، يؤخذ حاصل الضرب An_1 ، حيث n_1 - متوسط عدد مرات توصيل القابض فى الساعة ، وعندها

$$k''_{cool} = \frac{An_1}{\Sigma S_{fr}} \text{ kgf} \cdot \text{m/h} \cdot \text{cm}^2$$

أو

$$k''_{cool} = \frac{An_1}{427 \Sigma S_{fr}} \text{ k cal/h} \cdot \text{cm}^2.$$

وبالنسبة للقوابض يسمح بقيم k''_{cool} التالية :

الاقراص الصلب مع التزييت .... $k''_{cool} = 0.2 \div 0.5$ kcal/h · cm² (تبعا لوفرة زيت التزييت)

اسطح الاقراص تبرد بواسطة رشها بالزيت .... (تبعا لتصميم الاقراص) $k''_{cool} = 1.0 \div 2.0$ kcal/h · cm²

الاقراص تعمل على الجاف .... $k''_{cool} = 0.2 \div 0.3$ kcal/h · cm²

القيم الابتدائية لحساب آليات الضغط: يلزم للحساب اما الضغط النوعى p أو الضغط الكلى $P = pS_{fr}$ ،على الاسطح المحتكة، والقوة Q المؤثرة على مقبض الضغط او البدال او عضو الجذب للمغناطيس الكهربى ، او الضغط q فى دائرة ضغط الهواء أو الدائرة الايدرولية ؛ والازاحات المطلوبة او المسموح بها .

وتعتبر نسب النقل من البارامترات الهامة لتقييم المقارن ولضبط آليات الضغط :

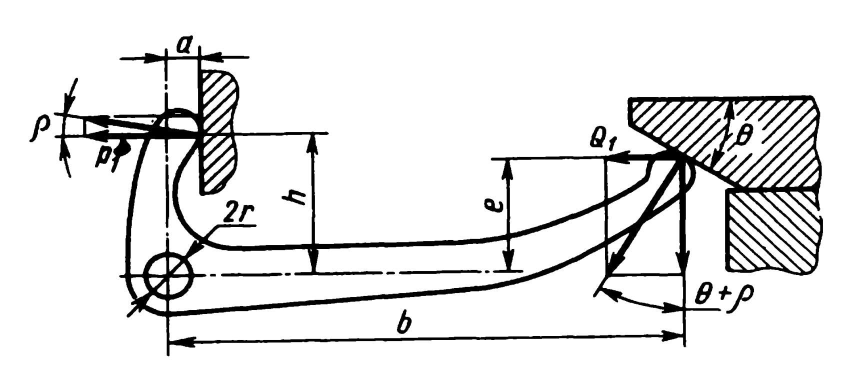
$$\text{فبالنسبة للقوى} \quad i_F = \frac{P}{Q} \tag{24.16}$$

$$\text{وبالنسبة للحركة} \quad i_k = \frac{\lambda_q}{\lambda_p}$$

حيث λ_q - مسار الرافعة او بدال الادارة ؛

λ_p - ازاحة الحلقة الاخيرة من الالية عند تطبيق الضغط P .

ويتحدد سير الحساب بواسطة نوع آلية الضغط . ففي حالة آلية الضغط ذى الروافع، يوصل القابض بازاحة الجلبة (الشكل ٢٤ - ٢٢). والضغط على القرص (أو على الاسطح المحتكة من شكل آخر) ينتقل بواسطة روافع على شكل زوايا . وفي وضع التوصيل النهائى ، تنتقل اطراف الاذرع الطويلة للروافع من السطح المخروطى للجلبة الى سطحها الاسطوانى . وفي هذه الحالة فان متجهات قوى ضغط الاقراص تنقفل على نفسها في الالية، أما أجزاء الادارة المرتبطة



الشكل ٢٤ - ٢٢

بالجلبة فتحرر من الاحمال . وفي الاليات التى تنقفل فيها متجهات قوى الضغط هذه، تتحدد الاخيرة بجساءة العناصر، وهذا يعتبر من خصائصها الهامة.

والمسار الكلى لجلبة التوصيل $\lambda_{b\,tot}$ يتكون من المسار اللازم لاستبعاد الخلوصات في التوافقات (١ - ٢ مم)، والمسار λ_{b_1} لاستبعاد الخلوصات بين الاقراص، والمسار λ_{b_2} لضغط الاقراص على بعضها البعض على حساب تشويه كل الاجزاء المعرضة للضغط، ومسار القفل (الاغلاق) (٣ - ٤ مم) الذى تنتقل فيه الروافع من السطح المخروطى للجلبة الى سطحها الاسطوانى . وبناء على ذلك ،

$$\lambda_{b\,tot} = \lambda_{b_1} + \lambda_{b_2} + (4 \div 6)\ \mathrm{mm}. \tag{24.17}$$

والمقداران λ_{b_1} ، λ_{b_2} يحددان من الصيغ

$$\lambda_{b_1} = z\Delta \frac{b}{h} \cot\theta = z\Delta i_k;\ \ \lambda_{b_2} = \frac{P}{c} i_k,$$

حيث z - عدد ازواج الاسطح المحتكة ؛

$i_k = \frac{b}{h} \cot\theta$ - نسبة النقل - نسبة ازاحة الجلبة الى ازاحة آلية الضغط (b ، h ، θ مبينة في الشكل ٢٤ - ٢٢) ؛

c - معامل جساءة آلية توصيل القابض .

والازاحة النسبية للاجزاء التى تصل عندها الازاحة في نهاية مسار λ_{b_2} الى الحد المطلوب لتكوين القوة P ، يتم التوصل

اليها بضبط آلية التوصيل . وهذه الازاحة ضرورية أيضا لاستعادة وضع أقراص الاحتكاك مع تآكلها . وكلما زادت الجساءة c ، زاد معها تكرار اللجوء الى هذا الضبط .

وتعتمد قيمة المعامل c على تصميم آلية الضغط، وابعاد أجزائه ويجرى تعيينه بالطرق التجريبية .

ويكفى لاغراض الحساب الابتدائى c أخذ أحد الاجزاء - الاقل جساءة ، مع اهمال مطيلية الاجزاء الاخرى . فمثلا فى الالية المبينة فى الشكل ٢٤ - ٢٠ ، يمكن الاكتفاء بجساءة الذراع b للروافع ، فى حالة الانحناء .

والقوتان Q_1 ، P_1 المؤثرتان من جانب الجلبة والاقراص على أحدى الروافع البالغ عددها n والموزع بينها الحمل بانتظام، من الواضح أنهما اقل بمقدار n مرة من القوتين المناظرتين $Q = nQ_1$ ، $P = nP_1$.

والنسبة بين Q_1 ، P_1 تحدد من معادلة اتزان عزوم كل القوى حول محور الروافع (الشكل ٢٤ - ٢٠) :

$$Q_1 b \cot(\theta + \rho) - Q_1 e - Q_1 rf - P_1 h - P_1 a \tan \rho - P_1 rf = 0^*$$

ومن هنا فعندما تكون $f = \tan \rho$ (معامل الاحتكاك)

$$\frac{P_1}{Q_1} = \frac{b \cot(\theta + \rho) - e - rf}{h + (a + r) f} = \frac{P}{Q} = i_F \qquad (24.18)$$

حيث i_F - نسبة نقل القوى فى آلية التوصيل .

والمقدار i_F يتغير فى عملية التوصيل حيث ان لاذرع a ، b ، h ، e تتغير ، وكذلك زاوية الضغط θ . وعادة يعتبر الوضع الحسابى هو الوضع الاقصى الذى يسبق الانتقال من السطح المخروطى الى الاسطوانى فى الجلبة . ويصل بين هذين السطحين سطح دورانى .

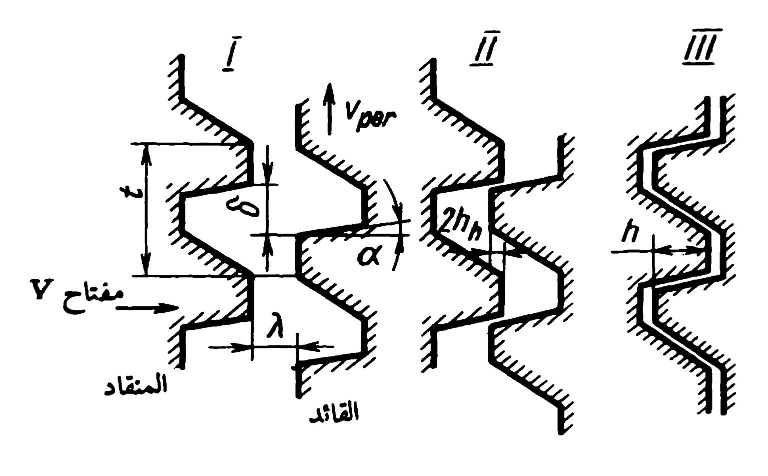
<u>القوابض الحدبية والمسننة</u>. يتكون القابض الحدبى من نصف قابض متحرك وآخر ثابت لهما حدبات على سطحيهما الطرفيين ونصف القابض الثابت مثبت تثبيتا جاسئا على أحد العمودين ؛

---

* هذه الصيغة محققة عند توفر التوزيع المنتظم للحمل بين الروافع، وعندما تكون المركبات الرأسية للقوى المؤثرة على الجلبة متزنة فيما بينها . واذا أخل بهذا الشرط المتفق عليه فى الرسم التخطيطى الحسابى (مثلا نتيجة للتصنيع الردىء للالية ، او لضبط دون عناية) ، فان القوة Q اللازمة لازاحة الجلبة تزيد بشدة نتيجة للاحتكاك الاضافى بين الجلبة والعمود .

أما نصف القابض المتحرك (فى الاتجاه المحورى) فيوصل مع العمود الآخر بواسطة خابور (feather) أو اسنان (splines). ويتم التوصل الى وصلة العمودين بتعشيق الحدبات فى كل من نصفى القابض. والتحكم فى القابض يتم بصورة يدوية أو بجذب المغناطيس الكهربى ، أو بسبل الادارة الهوائية والايدرولية المؤثرة من خلال روافع وشوكة ولقمة على نصف القابض المتحرك. ولتوصيل وفصل القابض الحدبى أثناء الدوران (راجع ما يأتى بعد) يتطلب الأمر زيادة السرعة زيادة كبيرة على طول مسار قصير. وفى بعض الحالات تستخدم لهذا الغرض طاقة الياى المشدود مسبقا (المملوء)، واطلاقها فى الوقت اللازم.

وقابض التعشيق المسنن يتكون من ترسين : باسنان داخلية وخارجية. وعدد الأسنان متساو فى الترسين. وتختلف القوابض المسننة عن القوابض الحدبية بموقع وجود عناصر التعشيق (على سطح اسطوانى وليس على السطحين الطرفيين لنصفى القابض) وشكلها (الاسنان ذات الشكل الاينفوليوتى بدلا من الحدبات ذات الاشكال المختلفة). وسوف نسمى كلا النوعين فيما بعد ، اختصارا بالقوابض الحدبية.



الشكل ٢٤ - ٢٣

وتتميز القوابض الحدبية، خلافا عن القوابض الاحتكاكية، بانها دقيقة فى تساوى السرعتين الزاويتين للعمودين المعشقين (بدون انزلاق)، وبأبعادها الصغيرة، وكذلك بالتصميم الأبسط، وبالتالى بالتكاليف الاقل . والعيب الرئيسى يكمن فى امكانية توصيلها وفصلها فقط فى حالة السرعات المحيطية الصغيرة، وتحت الاحمال الصغيرة بقدر الامكان. ويتضح جوهر هذا التحرير من تحليل عمليتى توصيل وفصل القابض.

فلتوصيل القابض الحدبى ، يلزم أن تتواجد نتوءات أحد نصفى القابض أمام تجاويف النصف الاخر. واحتمال حدوث هذا فى حالة العمودين الساكنين يساوى النسبة بين الخلوص بين الحدبات δ وبين خطوتها t (الشكل ٢٤ - ٢٣).

وتبعا لشكل وابعاد الحدبات يتغير المقدار B_{eng} فى حدود من صفر الى ١ . وفى حالة عدم وجود النتوءات أمام الحدبات، تجرى السعى للتوصل الى تطابق وضع الحدبات امام النتوءات عن طريق تكرار البدء فى ادارة العمود القائد . وفى حدود القوس δ يتم التوصل الى التطابق الكامل بواسطة الدوران النسبى

للعمود ين بجهد البدء فى الادارة المسلط على نصف القابض المتحرك.

أما فى حالة توصيل القابض أثناء الدوران (الشكل ٢٤ - ٢٣ ، $III-I$) يتحدد احتمال تعشيق الحدبات ليس بالقيمة B_{eng} فقط، بل أيضا بالنسبة بين السرعتين النسبيتين لنصفى القابض، السرعة المحيطية v_{per} ، والسرعة المحورية v_{eng} . والنسبة الحدية بين هاتين السرعتين ، اللتى تستمر عندها امكانية اجراء التعشيق يحددها الشرط

$$\frac{\delta}{v_{per}} = \frac{2h_h}{v_{eng}} , \tag{24.19}$$

حيث h_h - ارتفاع رأس الحدبة ($h_h < h$) ، الكافى لتوصيل العمود فى بداية التوصيل ، وبصورة يعول عليها.

والمتساوية (24.19) تربط بين القيمة الدنيا للسرعة v_{eng} ، التى تستمر عندها امكانية توصيل القابض اثناء الدوران وبين السرعة المحيطية v_{per} وابعاد الحدبات.

ومقدار القوة اللازمة لتوصيل القابض Q_{eng} يحدد انطلاقا من كتلة نصف القابض المتحرك ، وعجلات التسارع ، وقوى الاحتكاك اثناء مسار التوصيل $\lambda + 2h_h$.

والسرعة المحيطية $v_{per} = 1$ m/sec تقترح فى المعتاد بوصفها السرعة الحدية فى حالة التوصيل اليدوى للقوابض الحدبية فى ماكينات التشغيل.

ويجب أن يجرى فصل القابض الحدبى بحيث يحدث فصل تعشيق الحدبات فى نقاط بعيدة عن قممها بقدر كاف وبحيث لا تحدث صدمة مشتركة بينها بعد انفصالها مرة واحدة. ويمكن ان تحدث هذه الصدمات بسبب الدوران النسبى للاعمدة مع انصاف قوابضها بسرعات تساوى مجموع السرعة المحيطية للدوران v ، وكذلك السرعتين v_1 ، v_2 لاهتزازات لى العمودين اللذين يدوران عكس بعضهما البعض بعد فك التعشيق.

ويجب أن نلاحظ أن القوابض الحدبية، حتى مع توفر زاوية الحافة الامامية $\alpha = 0$ ، تميل الى الانفصال ذاتيا. ويفسر هذا بأنه نتيجة للتشوهات المرنة فى الحدبات والاعمدة والركائز وكذلك لانحراف نصفى القابض بسبب عدم الدقة فى الصنع وبسبب تآكل الاسطح المتقارنة تنشأ مركبة قوى محورية تميل الى فصل الحدبات والاسنان.

ويمكن التغلب تماما على الفصل الذاتى للحدبات، اذا ما كانت الاخيرة بتجويفات تحتية اى أن $\alpha <$ صفر (الشكل ٢٤ - ٢٤ ، ب).

ان تحليل عطيات توصيل وفصل القوابض الحدبية يبين تأثير شكل وأبعاد عناصر التعشيق على عمل القابض. وفى كل حالة معينة يتم اختيار أنسب أشكال الحدبات والاسنان (الشكل ٢٤ - ٢٤ ، أ ، ب) حسب الظروف المعطية لعمل القابض.

وفى الوقت الراهن حصلت القوابض المسننة ذات الاسنان الانفوليوتية، على انتشار واسع. فلقد حلت محل القوابض الحدبية تماما فى صناديق سرعات السيارات والجرارات ويفسر هذا بتكنولوجيا تصنيعها الابسط، وبواسطة العدد القاطعة والطرائق المستخدمة فى انتاج العجلات المسننة الاعتيادية

وبغرض تسهيل تعشيق القوابض المسننة، علاوة على ضرورة تدوير حواف الاسنان، احيانا تقصر كل ثانى سن على احد نصفى القابض، وتزال تماما على النصف الاخر (الشكل ٢٤ - ٢٤ ، د). وبهذا، تسهل عملية التعسيق بشدة من توصيل القابض بدون اللجوء الى زيادة الخلوص الجانبى : ان يزيد احتمال التعشيق B_{eng}، وتقل القوى اللازمة لتعشيق القابض أثناء الدوران Q_{eng} .

		الشكل
حدبية		مربع
	α=3-10°	شبه منحرف متماثل
	60-90°	مثلث (سن الفأر)
	h ، D ، β ، α ، أ	شبه منحرف غير متماثل
	α ، ب	غير متماثل ذى الغلق الذاتى (المضاد للفصل الذاتى)
مسننة	≥1.5mm ، A-A ، A ، اتجاه فصل التعشيق ، ج	ذى العلق الذاتى (ضد الفصل الذاتى)
	د	قارنة التعشيق المسهل

الشكل ٢٤ - ٢٤

فى الحدبات ذات الشكل المبين فى الشكل ٢٤ - ٢٤ ، ب، تتكون قوة تعيق فك تعشيق القابض ذاتيا وذلك عن طريق اختيار الزاوية α بحيث تكون أقل من الصفر. وفى القوابض المسننة يوجد لهذا الفرض قفل - بدرجة، تتكون نتيجة لانسحاق وتآكل الاسطح العاملة فى الاسنان. وتفتح قناة فى أحد نصفى القابض بحيث تتلامس احدى الاسنان مع سنة أخرى على النصف الثانى من القابض على بعد ٥ر١ - ٢ مم من طرفها، دون اعتبار لمنطقة الشكل الدورانى للسنة (الشكل ٢٤ - ٢٤ ، جـ). وهذه الاشكال " ذاتية الاحكام "، يمكن استخدامها فقط فى القوابض التى يجرى فصلها فى حالة اللاحمل .

والشرط اللازم للعمل الجيد فى القوابض الحدبية هو التشغيل الدقيق لانصاف القوابض وتركيبها الجيد ، وذلك لضمان تماس كل الحدبات المتقارنة. وللتعشيق السليم للحدبات يجب ان يكون لنصف القابض المتحرك اتجاه جيد على العمود . ويتم توفير هذا بتعيين طول كاف للسرّة ($l \geqslant 1.5\ d_s$) التى تركب على قطاع مسنن من العمود أو على خابورين على قطر واحد .

والاسطح العاملة فى الحدبات والاسنان ، وكذلك سرة نصف القابض المتحرك يجب ان تكون لها صلادة عالية . لذا فان القوابض التى توصل أثناء دورانها وهى محملة، تصنع من الصلب 20X مع المعاملة الاسمنتية والتقسية حتى صلادة Rc 56–62 ، اما فى حالة سرعات التعشيق غير الكبيرة، فتصنع من الصلب 40X مع تقسيتها الى Rc 48–54 او من الصلب 45 مع التقسية الى Rc 35–54 .

<u>حساب المتانة</u>. يجرى الحساب انطلاقا من القوة P_1 التى تنقلها حدبة واحدة مع شرط التوزيع المنتظم للحمل $M_{t\ des}$ بين كل الحدبات z * . وتعين الصيغ التالية كل من القوة P_1 ، واجهادى السحق p والانحناء σ_{bend} :

$$P_1 = \frac{2M_{t\ des}}{zd_m}; \quad p = \frac{P_1}{F_1} \leqslant [\sigma]_{com};$$

$$\sigma_{bend} = \frac{P_1 h}{2W_1} \leqslant [\sigma]_{bend} \qquad (24.20)$$

حيث z - عدد الحدبات ؛

F_1 - المساحة العاملة للحدبة الواحدة المعرضة للسحق ؛

h - ارتفاع الحدبة ؛

W_1 - عزم مقاومة مساحة مقطع الحدبة عند قاعدتها فى حالة الانحناء .

وبسبب الاخطاء الحتمية فى التصنيع، وبسبب التشوهات تحت تأثير الحمل ، لا تتلاصق كل الحدبات ببعضها البعض فى نصفى القابض ؛ ففى حالة عددها الكبير ، لا يشارك جزء منها عموما من نقل عزم اللى . وبأخذ هذا فى الاعتبار، يتحتم أخذ قيم مخفضة لكل من

---

* اذا وجدت انحرافات بين نصفى القابض، يتلقى الحمل سنان فقط يكونان موجودين عندئذ فى مستوى اكبر انحراف فى المحورين . لذا فانه فى حالة عدم التأكد من التصنيع الدقيق للقابض ومن جودة تركيبه ، يجب اعتبار أن $z = 2$ ، بغض النظر عن العدد الحقيقى للاسنان، أما فى حالة حساب المرفاعات فتؤخذ $z = 1$.

$[\sigma]_{bend}$ ، $[\sigma]_{com}$. ويوصى - باستعمال القيم التالية للاجهادات الافتراضية فى حالة السحق :

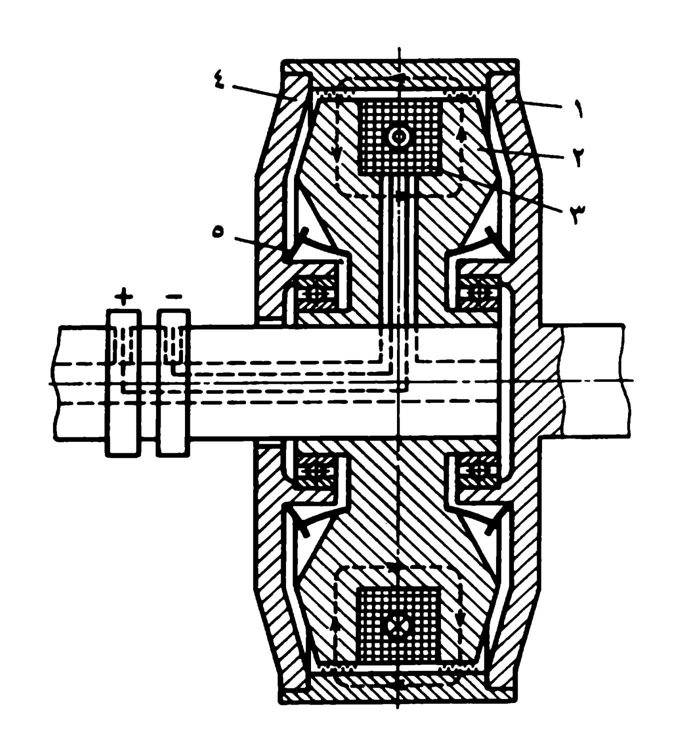
للقوابض الموصلة فى حالة السكون $[\sigma]_{com} = 1000 \div 1500\ kgf/cm^2$

للقوابض الموصلة مع الحركة $[\sigma]_{com} = 300 \div 400\ kgf/cm^2$

وهذه القيم تخص القوابض ذات الاسطح المصلدة اسمنتيا والمقساة للحواف العاملة فى حدباتها .

واجهادات الانحناء المسموح بها $[\sigma]_{bend}$ تعين وفقا لمادة القابض. وعند الحساب بالنسبة للعزم الديناميكى فى حالة التوصيل وبالنسبة للقوابض التى لا توصل اثناء الحركة، تؤخذ قيم $[\sigma]_{bend}$ حسب حد الخضوع ومعامل أمان $n \geqslant 1.5$.

القوابض الكهرومغناطيسية بالسوائل او المساحيق. ان مبدأ عمل هذه القوابض (التى تسمى أيضا بقوابض المستحلبات ذات الموالىء الحديدية المغناطيسية) ، التى بوشر فى استخدامها صناعيا منذ الفترة ما بين عامى ١٩٤٧ - ١٩٤٨ فقط، قائم على المخاليط السائلة ومخاليط أشباه المساحيق ذات الجسيمات الحديدية المغناطيسية المتحركة والتى تغير تركيبها فى المجال المغناطيسى .



الشكل ٢٤ - ٢٥

والعناصر الاساسية للقابض (الشكل ٢٤ - ٢٥) هى : قلب من الصلب ٢ مرتبط بالعمود القائد ؛ ملف حلقى ٣ ، يتصل طرفاه بحلقتى تماس ومركب فى تجويف فى القلب، جسم ١ القابض وهو متصل بالعمود المنقاد بواسطة طوق اسطوانى يلتف حول القلب مع وجود خلوص غير كبير بينهما (٥ر٠ - ٢ر٠ مم)؛ خليط من مسحوق فولاذى (قطر جسيماته يتراوح من ٥ الى ١٠ ميكرون) معلق فى الزيت فى حالة القوابض السائلة، أو الجرافيت فى حالة قوابض المساحيق، يملأ الخلوص بين القلب والطرف ٤ ؛ حشو مانع ٥ . والنسبة الوزنية بين جسيمات الصلب والزيت تكون فى العادة ٥ : ١، علما بأن النسبة بين التوصيل المغناطيسى للخليط اكبر بمقدار ٨ مرات تقريبا من التوصيل المغناطيسى للهواء .

وعند توصيل التيار الكهربى الى ملف القابض، يتكون مجال مغناطيسى (فى الشكل ٢٤ - ٢٥ يبين اتجاه التيار المغناطيسى

بالاسهم) ؛ وتحت تأثير هذا المجال يتحول الخليط الى كتلة جيلاتينية تتلاصق جزيئاتها بسطح القطب (القلب) والطوق بضغط نوعى $q = \left(\frac{B}{5000}\right)^2$ kgf/cm² .

وعزم اللى الذى ينقله القابض:

$$M_t = fq\, Sr \text{ kgf} \cdot \text{cm}, \tag{24.21}$$

حيث S - السطح العامل فى الاسطوانة او القرص المشارك فى نقل العزم ، سم ٢ ؛

r - نصف قطر الاسطوانة أو نصف القطر المكافىء لقرص التعشيق ، سم ؛

f - معامل التعشيق (adhision) .

وبالنسبة للظروف المبينة اعلاه فان القيمة التجريبية للمعامل $f \approx 0.1 \div 0.3$.

وعند فصل الطاقة عنه (فصل التيار الكهربى) يكون سبب الاحتكاك فى القابض هو لزوجة الخليط .

ويعتبر التنظيم التدريجى لسرعة دوران العمود المنقاد عن طريق تغيير شدة تيار المغنطة هو من اثمن خصائص هذه القوابض. وفى القوابض الاحتكاكية العادية، فان الانزلاق الطويل الامد يؤدى بسرعة الى تحطيم الاسطح المحتكة، لذا لا يسمح بحدوث هذا الانزلاق. وبفضل الظروف الخاصة للتعشيق فى القوابض المغناطيسية، يمكن السماح بحدوث انزلاق لمدة طويلة، ولا يحد من هذه الامكانية غير الزيادة المسموح بها فى كمية الحرارة. وعند وجود فرق فى السرعات الزاوية للعمودين القائد والمنقاد ($\omega_0 - \omega$) ،تكون الطاقة $M_t(\omega_0 - \omega)$ هى التى تحدد الفقد الحرارى فى القابض. وتتحدد زيادة درجة حرارة القابض بالصمود الحرارى للمواد المستخدمة، وبالتمدد الحرارى للخليط .

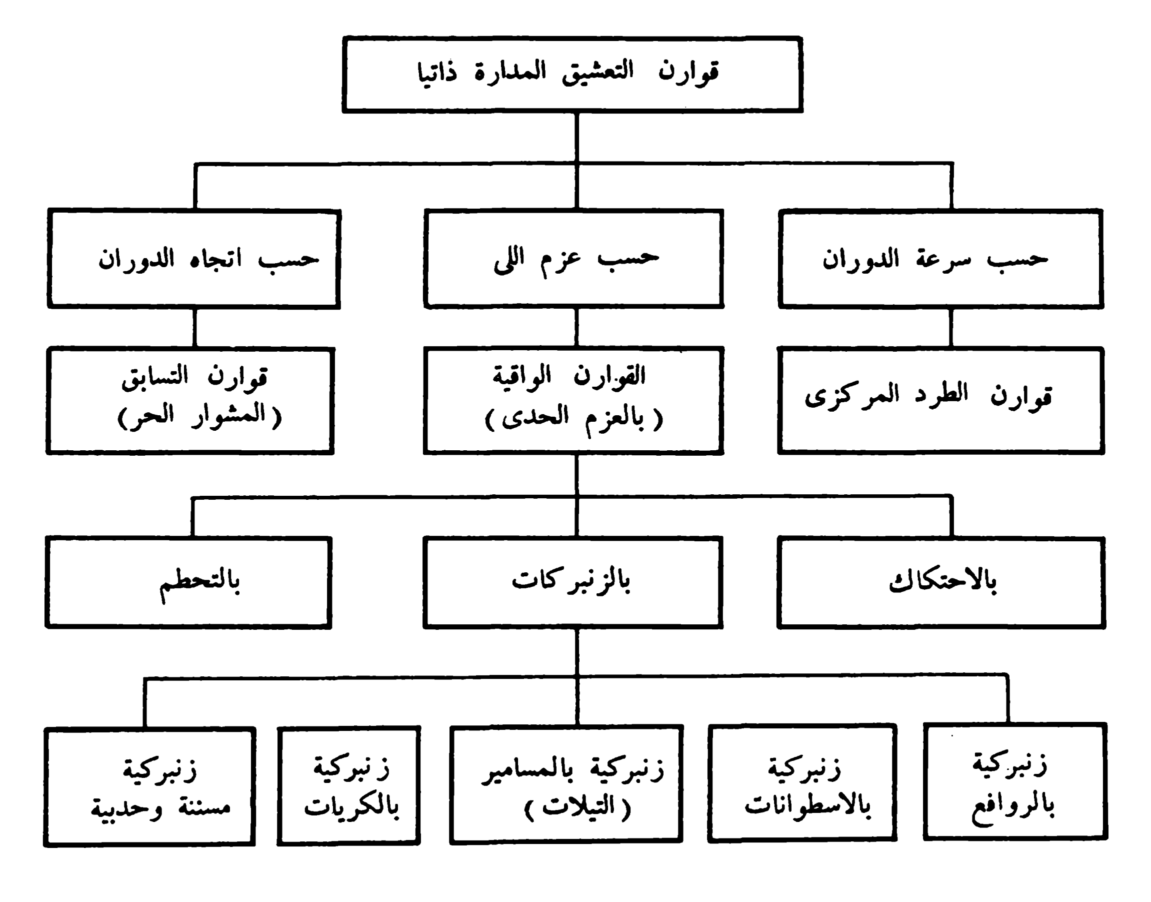
قوابض التعشيق المدارة ذاتيا

تدخل فى عداد القوابض المدارة ذاتيا ، تلك القوابض التى يتم فيها التعشيق والفصل اوتوماتيكيا - تبعا لتغير أحد العوامل (الشكل ٢٤ - ٢٦) : عزم اللى (القوابض الواقية او قوابض العزم الحدى) ، اتجاه الدوران (قوابض التسابق او المشوار الحر) ، سرعة الدوران (قوابض الطرد المركزى) . ولكن هذا التقسيم يعتبر تقسيما رمزيا . اذ انه تكون تاريخيا ، وفى الوقت الذى كانت فيه ادارة القوابض، بما فى ذلك الادارة الذتية، تتحقق بابسط الوسائل . وفى

الوقت الحاضر، عندما اخذت تستخدم فى القوابض استخداما واسعا، الاجهزة الكهرومغناطيسية والهوائية، والايدرولية، نجد أن امكانية اتمتة ادارة القوابض والتحكم بها بواسطة أى من البارامترات (مثلا بالمسار، والزمن . . . الخ) أصبحت غير محدودة عمليا .

القوابض الواقية. تستخدم القوابض الواقية لحماية الماكينات من خطر الحمل الزائد . فعندما يصل عزم اللى المنقول بواسطة القابض الواقى، الى مقدار محدد مسبقا ، يبدأ القابض فى العمل على تلافى زيادة العزم اللاحقة.

وأهم المتطلبات المطروحة على تصميم القوابض الواقية ـ الكفاءة والعمل المتواصل بدون تعطل، ودقة تأثيرها فى هذا المجال .



الشكل ٢٤ - ٢٦

ويعتبر القابض الواقى الذى لا يتمتع بالكفاءة المطلوبة غير مفيد، بل ومضرا أحيانا بالماكينة، حيث أنه يساعد على ظهور زيادة الحمل. والدقة فى التأثير، ترتبط مباشرة بمعامل الامان فى الاليات التى يحميها القابض : فكلما كانت دقة تأثير القابض اعلى يمكن ان يصبح معامل الامان فى الاليات أقل . وعند اختيار القابض او تصميمه يجب قبل كل شىء التأكد من مدى تجاوبه مع هذه المتطلبات.

وسنستعرض فيما يلى بعض القوابض التى حصلت على انتشار واسع بنوع خاص .

القوابض الواقية ذات العنصر القابل للتحطم : وهى تعتبر أبسط التركيبات الخاصة بحماية الماكينات من الحمل الزائد . فعندما يصل الحمل الى قيمة حدية ـ تحددها مقاومة التيلة للقص أو تحطيم مسمار اللولب ، يتحطم المسمار او التيلة، وتنقطع دائرة القدرة فى الماكينة.

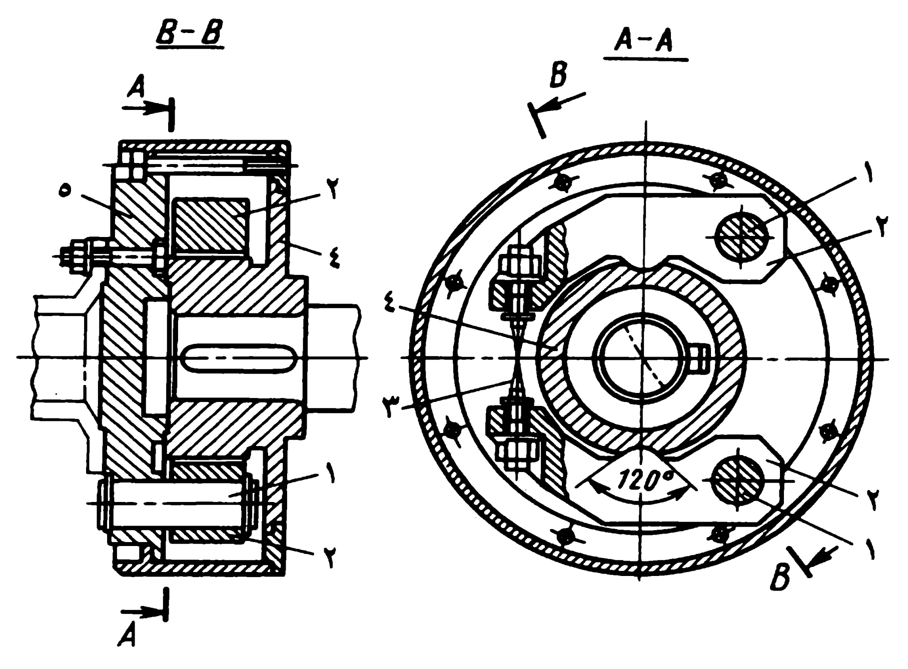
والقوابض الواقية النمطية من هذه المجموعة مبينة فى الشكلين ٢٤ - ٢٧ ، ٢٤-٢٨ .

ففى القابض ذى التيلة العاملة بالقص (الشكل ٢٤ - ٢٧) : ١ ـ السرة القائدة؛ ٢ ـ الترس المنقاد ؛ ٣ ، ٤ ـ جلبتان مقساتان تركب فيهما التيلة العاملة بالقص ٥ ؛ ٦ـ سدادة لاخراج الحطام ولتغيير التيلة.

الشكل ٢٤ - ٢٧

وفى القابض ذى مسمار اللولب القابل للتحطم (الشكل ٢٤ - ٢٨) : ١ ـ اصبعان مثبتان فى نصف القابض المنقاد ٥ ؛ ٢ ـ رافعتان مضغوطتان على سرة ٤ العمود القائد بمساعدة مسمار اللولب القابل للتحطم ٣ .

وفى المعتاد يستخدم الصلب ذو المتانة $\sigma_u = 60\ kgf/mm^2$ كمادة لصنع التيلات والمسامير الطولبة القابلة للتحطم. وتحوى التيلات



الشكل ٢٤ - ٢٨

والمسامير المطلوبة اختناقات (خدود). وخصائص المادة وشكل الاختناقات تختار بحيث يكون التحطم قصيفا بقدر الامكان، أما التشوهات المتخلفة وتكون أقل ما يمكن. وعلاوة على ذلك فان الاختناق فى التيلات يقلل من احتمال تكون حواف حادة فيها تعرقل عملية اخراج الحطام ويقلل من تأثير الخلوصات على تجانس تأثير القوابض الواقية.

وفى القوابض الواقية ذات التيلة الواحدة العاملة بالقص يكون شرط الاتزان هو

$$M_t - Trf' - Tr_m = 0.$$

حيث r - نصف قطر سطح الارتكاز الذى يسلط عليه رد الفعل من القوة T ؛

f' - معامل الاحتكاك المكافىء على هذا السطح ؛

r_m - نصف القطر المتوسط لموضع مقطع القص فى التيلة.

واذا اخذنا القيم المعتادة $f' = f \times \frac{4}{\pi}$ ، $f = 0.2$ ، $\frac{r}{r_m} = 0.6$

$T = 0.75\ d^2\tau_u$ (الحمل الذى يحطم التيلة)، نحصل على الصيغة

$$M_t = 1.15\ Tr_m = 0.86\ d^2 r_m \tau_u, \tag{24.22}$$

ومن هذه الصيغة تعين فى الحسابات التصميمية ابعاد التيلة (d)، والقابض (r_m)، اما فى حسابات الاختبار فعزم اللى الذى يؤثر عنده القابض.

<u>القوابض الاحتكاكية الواقية</u>، وتأثيرها قائم على انزلاق الاسطح المضغوطة على بعضها البعض عند وصول الحمل الخارجى الى قيمة حدية لقوى الاحتكاك، وهى تستخدم كثيرا بفضل تصميمها البسيط ودرجة كفاءتها عند الاستخدام، لحماية مختلف الوحدات من زيادة الحمل عن الحد.

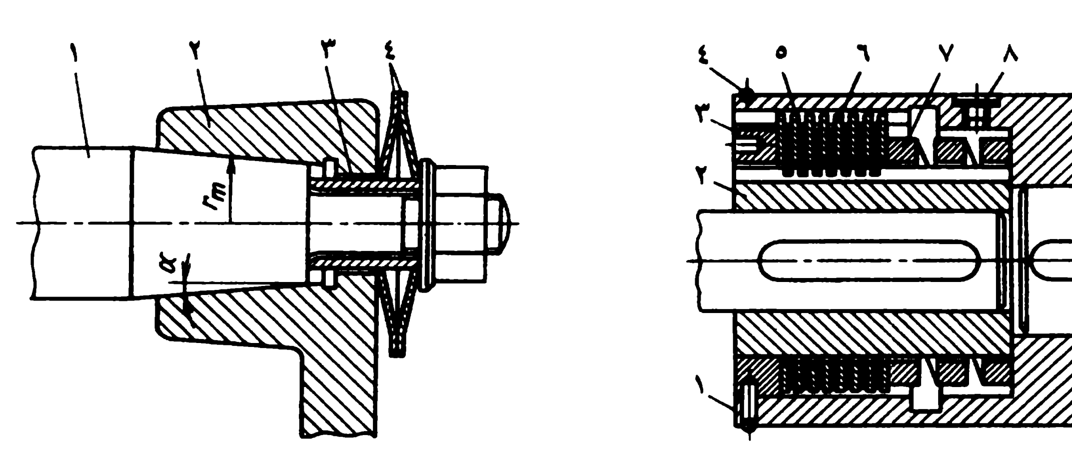
والشكل ٢٤ - ٢٩ يبين احد القوابض الواقية المتعددة الاقراص، حيث ١، ٢ - نصفا القابض الخارجى والداخلى ؛ ٣ - صامولة تربط الاقراص ؛ ٤ - حلقة زنبركية تثبت وضع الصامولة؛ ٥، ٦ - الاقراص؛ ٧ - زنبرك معاير ؛ ٨ - سدادة لسد فتحة التزييت.

وكل ما ورد ذكره أعلاه حول تصميم وحساب الاسطح المحتكة فى قوابض التعشيق محقق أيضا بالنسبة للقوابض الاحتكاكية الواقية. وخلافا عن قوابض التعشيق، يولى اهتمام اكبر بمسألة ثبات عزم اللى الاقصى المنقول، مما يحدد دقة القابض.

والشكل ٢٤ - ٣٠ يبين قابضا احتكاكيا مخروطيا واقيا، حيث ١ - العمود المنقاد ؛ ٢ - سرّة المقبض ؛ ٣ - أنبوبة يتحدد طولها باكبر ضغط مسموح به على الزنبرك (اليای) ٤.

وهنا تقوم بوظيفة القابض، أجزاء أخرى فى الماكينة مخصصة

لاغراض أخرى ، فنصف القابض القائد مصنوع كقطعة واحدة مع سرّة المقبض، أما نصفه المنقاد فيكون بمثابة قطعة واحدة مع العمود . ويصبح مثل هذا التوحيد مفيدا ، وكثيرا ما يستخدم أيضا في القوابض من الانواع الاخرى : فتوضع قوابض التعشيق في البكرات التي تقوم لها بوظيفة أجسامها ؛ والعناصر المرنة توضع في اطواق العجلات المسننة التي تقوم بناء على ذلك بوظيفة القابض



الشكل ٢٤ - ٣٠

الشكل ٢٤ - ٢٩

المرن أيضا . . . وما الى ذلك. كما ويمكن ان نشاهد أيضا قوابض مجمعة تتوحد فيها عناصر قوابض لمختلف الاغراض، وبالتالي وظائفها أيضا ـ القوابض المرنة والواقية، قوابض التوصيل والتعشيق. . . الخ .

ومن الصيغة (24.9) نجد أن عزم اللى الذى يبدأ عنده القابض الاحتكاكى الواقى بالعمل والحاوى على مجموعة معينة من الاسطح المحتكة، يعتمد على قوة الضغط P ، وحالة الاسطح المحتكة، التى تعين بدورها معامل الاحتكاك f .

وبفرض الضغط الثابت للاسطح المحتكة، تدخل بواسطة قوة معايرة محددة P فى آلية الضغط، حلقة مرنة (اما ياى أو حلقة مطاطية) او يستخدم ضغط الهواء او قوة الجذب الكهرومغناطيسية.

وبفرض الحفاظ على مقدار ثابت للمعامل f ، اما أن تعزل تماما الاسطح المحتكة عن زيت التزييت، او على العكس تزود بطبقة رقيقة دائمة من زيت التزييت ، مع التحكم فى القابض بحيث تنزلق بيسر اقراص القابض بشكل دورى، مثلا اثناء البدء فى تشغيله.

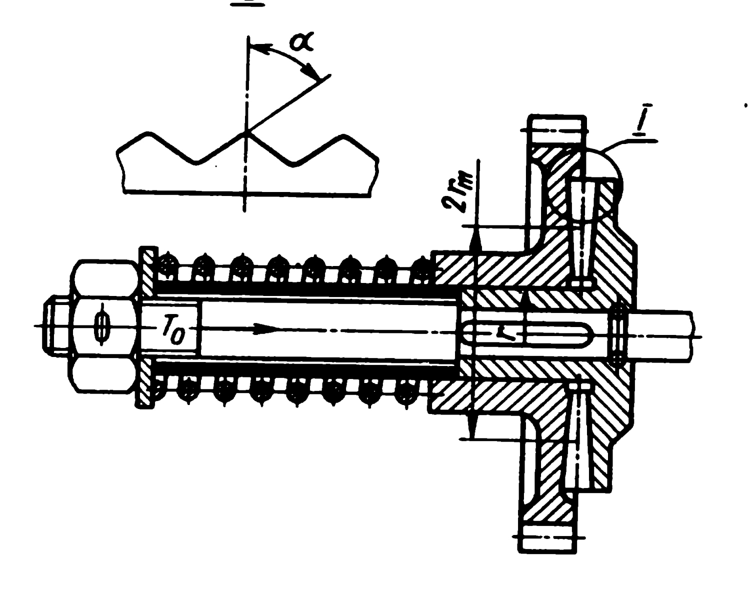
القوابض الزنبركية الواقية. وهى تعتبر من حيث كمية أصنافها التصميمية اكبر مجموعات القوابض الواقية عددا * .

---

* يجب ادخال القوابض الواصلة المرنة (انظر ص ٤٥٩) ، ايضا فى عداد القوابض الزنبركية الواقية . فهى تخفض من سعة عزوم اللى المؤثرة فى المجموعة ، وتحمى المجموعة من خطر زيادة الحمل .

والاشكال (٢٤ - ٣١) - (٢٤ - ٣٤) تبين بعض اكثر انواع القوابض الزنبركية الواقية شيوعا. وملامحها المشتركة هى وجود ياى واحد أو عدة يايات تركب بالشد الابتدائى. وعندما يصبح الحمل الناتج من القوى الخارجية، اكبر من الشد الابتدائى، تحدث متابعة فى تشوه اليايات، أما فى حالة الزيادة الكبيرة فى الحمل، فيحدث انقطاع فى دائرة القدرة. وعموما فان التصاميم المختلفة للقوابض الزنبركية الواقية تختلف فقط فى وسيلة نقل اليايات للحمل الخارجى ووسيلة انقطاع دائرة القدرة.

وفى القوابض الزنبركية الواقية ذات الفصل، تتم هذه العملية عن طريق الازاحة النسبية فى الاسنان، أو الحدبات، أو الكريات وما الى ذلك. فعند حمل معين يعتمد على زاوية تلامس الاجزاء المذكورة، وعلى الشد الابتدائى فى اليايات، تبدأ ازاحة نسبية بين الاسطح، يصاحبها تآكل كبير فى الاسطح المتلامسة. وهذا التآكل يستهدف تقليله باضفاء شكل منطقى على الاسطح، وباستعمال معجل يؤثر تأثيرا اضافيا على الاجزاء المراد فصلها؛ وبالحد من التأثير عن طريق طفرة واحدة فقط، تبقى بعده أجزاء القابض فى وضع الفصل.



الشكل ٢٤ - ٣١

القوابض الزنبركية المسننة ذات القرص المصنوع من الحديد الزهر او من الصلب، تستخدم بتوسع فى الماكينات الزراعية ومميزاتها التصميم البسيط، والانذار بزيادة الحمل. الا ان الاخير يزيد لدرجة كبيرة من تكاليف الماكينة بسبب التآكل المشار اليه اعلاه فى الاقراص عند حدوث الطفرة. ومن الواضح، أنه يكون من الاوفق تقسيم الوظائف بحيث يعمل القابض لمرة واحدة عند انقطاع دائرة القدرة، على أن يكون اطلاق اشارة الانذار بواسطة سقاطة بسيطة. وتصميم هذا القابض والشكل النمطى لمقطع السن مبين فى الشكل ٢٤ - ٣١ .

والصيغ الحسابية للقوابض المسننة تستنتج بسهولة من شرط الاتزان.

عزم اللى الحدى اللازم لقيام القابض بمفعوله

$$M_t = \frac{T r_m}{\tan(\alpha - \varphi) - \frac{r_m}{r} f'} \qquad (24.23)$$

حيث

$$T = T_0 + c\tau$$

وهنا T_0 ـ قوة الضغط الابتدائى فى الياى ؛

c ـ جساءة الياى ؛

τ ـ التشوه الاضافى فى الياى فى لحظة الفصل ؛

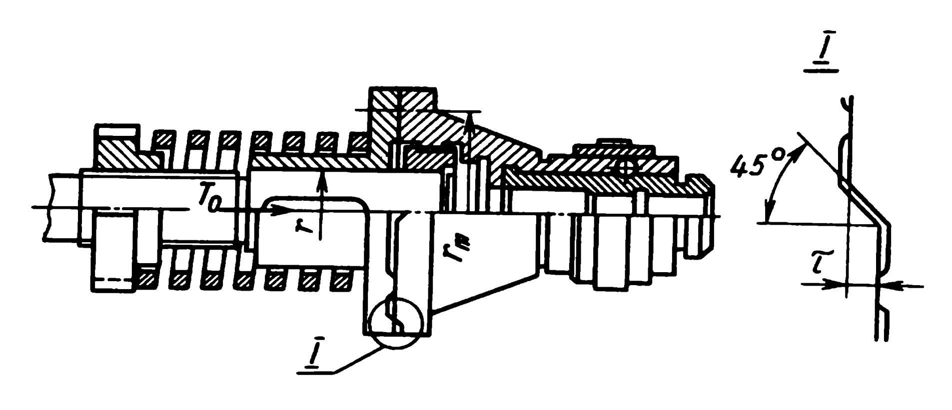
α ـ زاوية ميل الحافة العاملة فى السن (فى المعتاد $\alpha = 30° \div 40°$) ؛

φ ـ زاوية الاحتكاك بين اسطح الاسنان ؛

f' ـ معامل الاحتكاك المكافىء على سطح نصف قطره

r_m ـ نصف القطر المتوسط لاسنان القابض .

القوابض الزنبركية الحدبية. وهى فى الواقع مركبة بنفس طريقة تركيب القوابض المسننة. وتتميز حدبات هذه القوابض عن الاسنان



الشكل ٢٤ - ٣٢

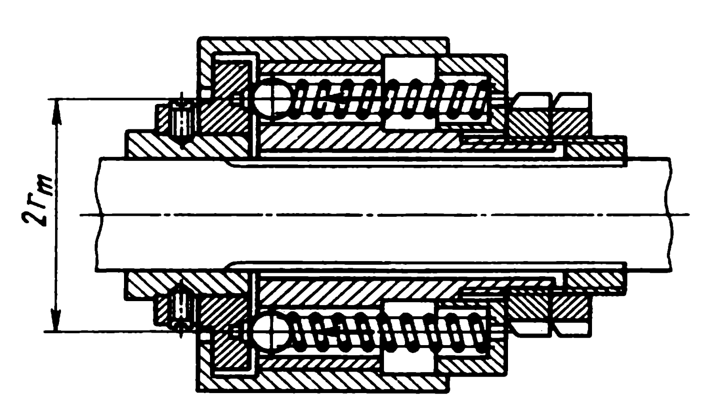
بشكلها الخاص، وبعددها الاقل ، وبوضعها فى المعتاد على دائرة قطرها اقل. واحد اكثر التصاميم كمالا فى القوابض من هذا الطراز هو القابض الواقى المستخدم فى ماسكات ذكور اللولبة والمبين فى الشكل ٢٤ - ٣٢ . والصيغ الحسابية المستخدمة فى القوابض الحدبية هى نفسها المستخدمة لحساب القوابض المسننة.

وتعمل القوابض الحدبية جيدا بشرط تصنيع الحدبات بدقة، لضمان التلامس الجيد بين الاسطح العاملة لمختلف اوضاع الاقراص. وظروف عمل القابض تتحسن اذا ما كانت للاقراص امكانية تعديل اوضاعها ذاتيا . ولهذا الغرض تصنع سرة القرص المتحرك قصيرة وتركب على العمود بحرية.

القوابض الزنبركية ذات الكريات (الشكل ٢٤ - ٣٣) وتعتبر شكلا خاصا من أشكال القوابض الحدبية. ويستبدل فيها احتكاك الانزلاق فى الحدبات جزئيا باحتكاك التدحرج . وتنطبق على هذه القوابض الصيغة (24.33) مع شرط أن $T = T_0 + zc\tau$ ، $r = r_m$ ، حيث

z ـ عدد الكريات .

ويؤدى التماس النقطى للكريات الى اجهادات تماس كبيـــرة، وعنـــد تشغيل القابض لمرات عديدة، فان هذا التماس يؤدى الى التحطم السريع. وتفضل قوابض الكريات فى حالات الاحمـــال غيـــر الكبيرة نسبيا، وللسرعات القليلة، وندرة زيادة الحمل عن حده.



الشكل ٢٤ - ٣٣

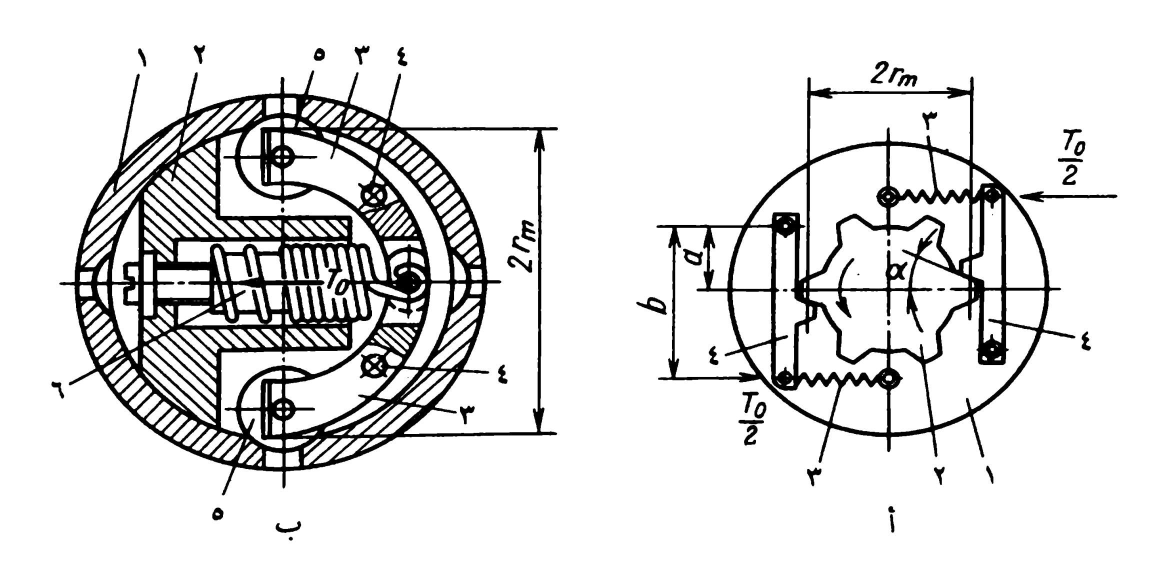
والقوابض الزنبركيـــة ذات الروافع (الشكل ٢٤ -٣٤)، تسمح بتخفيض تأثير الاحتكاك علـــى تجانس سريان مفعول القوابـــض الى الحد الادنى.

وصيغها الحسابية :

$$M_t = \frac{Tbr_m}{\tan(\alpha-\varphi)a};\ T = T_0 + 2c\tau. \qquad (24.24)$$

ومثل هذه القوابض تتمتع بابعاد كبيرة نسبيا. بيد انه فى الحـــالات التى لا تعيق فيه هذه القوابض عمل الالات، او حين تكون الاحمال المراد حملها صغيرة ومتطلبات العول والدقة عالية، فان هذه القوابض تعتبـــر من افضل الحلول التكنولوجية.

وفى الشكل ٢٤ - ٣٤، أ : ١، ٢ - الجزءان المنقاد والقائد فـــى القابض، ٤ - الروافع التى تنضغط على حدبات الجزء القائـــد مـــن



الشكل ٢٤ - ٣٤

نصف القابض بواسطة اليايات ٣. أما فى الشكل ٢٤ - ٣٤، ب : ١، ٢ - الجزءان المنقاد والقائد فى القابض ٣ - الروافع؛ ٤- محـــاور دوران الروافع؛ ٥ - الاسطوانات المثبتة فى الروافع؛ ٦ - اليـــاى الذى يضغط الاسطوانات ٥ على الجزء المنقاد من القابض.

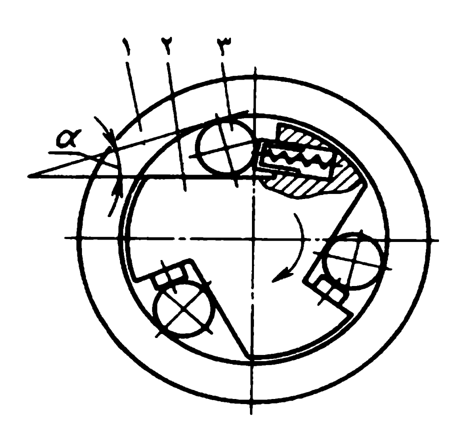
ولم تدخل فى الاعتبار فى الصيغ الواردة فى قسم القوابض الواقيـــة

قوى القصور الذاتى التى تظهر عند عمل القابض، لذا تكون محققة للسرعات الصغيرة لتزايد الحمل، وتتطلب اجراء تصحيحات فى حالة السرعات الكبيرة.

قوابض التسابق. وتسمى هذه القوابض ايضا بقوابض المشوار الحرّ، وهى تتميز بأنها توصل وتفصل الاعمدة اوتوماتيكيا تبعا للنسبة بين سرعاتها الزاوية. فعندما تصبح سرعة العمود القائد اكبر من سرعة العمود المنقاد، يوصل القابض بين العمودين، وفى الحالة العكسية للنسبة بين السرعتين ينفصل القابض، وبذلك يمكن ان يسبق العمود المنقاد العمود القائد.

وهذه القوابض تستخدم بتوسع فى مختلف اجهزة الاطلاق، وفى الدرجات الهوائية، والعجلات النارية، وماكينات تشغيل المعادن، وصناديق السرعات للسيارات.

وقوابض التسابق تكون اما بسقاطة او قوابض احتكاكية. والاخيرة تنقسم حسب تركيبها الى قوابض ذات قفل محورى وقطرى، أما بالنسبة لتصميم عناصرها التى تنشأ بينها قوى الاحتكاك فانها تنقسم الى قوابض اسفينية، وزنبركية، وذات اسطوانات، والاخيرة تستخدم بانتشار واسع.



الشكل ٢٤ - ٣٥

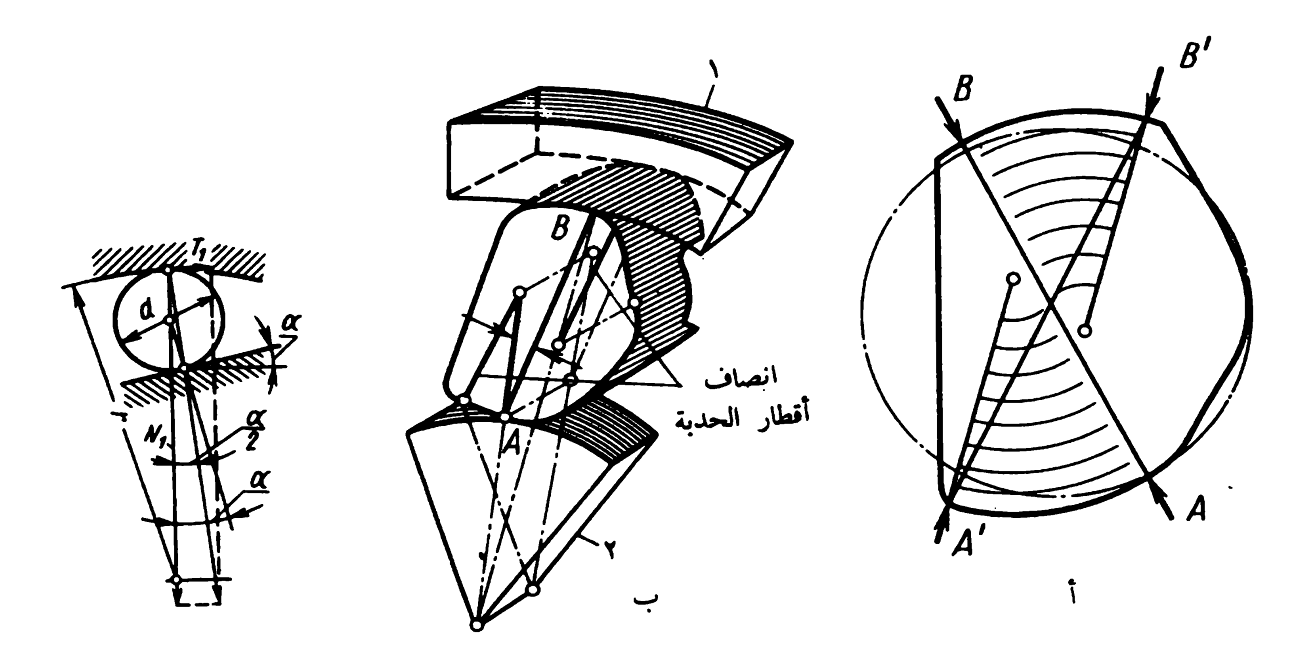
وقوابض التسابق ذات الاسطوانات (الشكل ٢٤ - ٣٥) تتكون من حافتين خارجية ١، وداخلية ٢ مركبتين على العمودين المراد توصيلهما، ومن اسطوانات صغيرة ٣ بين الحافتين. وعندما تدور الحافة الداخلية بالنسبة للخارجية بعكس اتجاه عقارب الساعة، فان الاسطوانات تدور حول محاورها دون عائق، أو انها تتزلق. وعندما تبدأ الحافة الداخلية فى الدوران مع عقارب الساعة، تنحشر الاسطوانات بين الحافتين، محققة بذلك تعشيق العمودين. وتصنع مماسات ومحيطات الاسطوانات من نقط التماس مع الحواف زاوية α غير كبيرة (الشكل ٢٤ - ٣٥)، وتسمى زاوية الاسفنة (wedging angle). وفى العادة يتراوح مقدار الزاوية α بين ٣ و ٦° . ولا تفضل القيم الاقل، حيث ان ذلك يصعب من انفصال القابض فيما بعد. وفى حالة الزوايا الكبيرة، يستحيل انزلاق القابض، وخصوصا بعد وقوع بعض التآكل، والتشوه فى اسطح التماس.

وحسب طابع التحميل، ومقادير ضغوط التماس، تقترب ظروف عمل حواف واسطوانات قوابض التسابق من ظروف عمل عناصر كراسى محاور التدحرج. لذا ففى حالات الاحمال الكبرى تصنع الحواف والاسطوانات من الصلب ШX 15 ، اما فى حالات الاحمال الضئيلة، فمن الصلب 20 X, 40 X .

بغرض تحسين تصميم قوابض التسابق يجب رفع الاحمال المسموح بها ، وتقليل الاحتكاك في المشوار الحر.

في القوابض المبينة في الشكل ٢٤ - ٣٥ يتحقق ذلك نتيجة لزيادة عدد الاسطوانات، وبالتوزيع المنتظم للحمل بينها (اذ تصنع احدى الحافتين عائمة) ، وبزيادة صلادة اكثر الاسطح تآكلا (فتزود الحافة الداخلية بالواح من سبيكة صلدة).

ومن بين التصاميم الجديدة لقوابض التسابق ، تعتبر اهمها القوابض ذات الحدبات (الشكل ٢٤ - ٣٦) . ويوجد منها بعض التصاميم المحسنة. اما تصميمها فهو متشابه من حيث المبدا، فبين



الشكل ٢٤ - ٣٧

الشكل ٢٤ - ٣٦

سطحين اسطوانيين مشتركين في المحور (١ ، ٢) ، تركب حدبات بشكل خاص (الشكل ٢٤ - ٣٦ ، ب) وشكل هذه الحدبات يحدده قوسان من دائرتين ينحرف مركزاهما ، علما بان $AB < A'B'$ (الشكل ٢٤-٣٦ ، أ) . وعند استدارة الحافة الداخلية بالنسبة للحافة الخارجية في اتجاه عقارب الساعة تنحشر الحدبات بين الحافتين موصلة بذلك بين العمودين . والوضع النسبي الصحيح بين الحدبات، والتماس بين الحدبات والحافتين ، تضمنهما في لحظة الابتداء يايات دافعة ، أو الفواصل ، أو غيرها من العناصر. وبفضل العدد الكبير للحدبات ، ونصف قطر اسطح تماسها ، فان القوابض من هذا الطراز ، تنقل احمالا كبيرة، مع صغر احجامها.

واجزاء القابض بسيطة نسبيا وسهلة من حيث تكنولوجية صنعها عند الانتاج بالجملة. وتصنع الحدبات من مقاطع صلب مشكلة بالشد الخالص (بالسحب) مع اتباع ذلك بالتقسية والتطبيع حتى الصلادة Rc 60–64 .

<u>حساب المتانة</u> . بالنسبة لاسطوانات القوابض ينحصر حساب المتانة بشكل رئيسى فى اختبار اجهادات السحق فى مواضع التلامس. وهنا تؤثر فى نفس الوقت تأثيرا ديناميكا قوى عمودية ومماسية كبرى. وعند الحساب تؤخذ فقط القوى العمودية فى الاعتبار، لذا يكون هذا الحساب لغرض المقارنة فقط.

والقوة العمودية (الشكل ٢٤ - ٣٧) المؤثرة على الاسطوانة المحشورة

$$N_1 = \frac{M_{t\,des}}{zr} \cot \frac{\alpha}{2} = \frac{T_1}{\tan \frac{\alpha}{2}} \tag{24.25}$$

حيث $M_{t\,des}$ - عزم اللى الحسابى الذى ينقله القابض ؛

z - عدد الاسطوانات فى القابض ؛

r - نصف قطر السطح العامل للحافة الخارجية ؛

N_1 ، T_1 - القوتان العمودية والمماسية المسلطة على الاسطوانة فى مساحة تماسها مع الحافة الخارجية ؛

α - زاوية الاسفنة (وهى فى العادة ٣ ÷ ٦°) .

ومن معادلة هيرتس (2.30) ، وباستعمال الرموز المعطاة ، يكون أقصى ضغط p_{max} على مساحة تماس الاسطوانة مع الحافة الخارجية عندما تكون

$$E = E_1 = 2 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2, \quad r \gg d_2;$$

$$p_{max} = 0{,}418 \sqrt{\frac{2N_1 E}{ld}} \text{ kgf/cm}^2, \tag{24.26}$$

حيث l ، d - طول وقطر الاسطوانة بالمم .

ومن هذه المعادلة ينتج أن $p_{max} = 9000 \div 12000 \text{ kgf/cm}^2$.

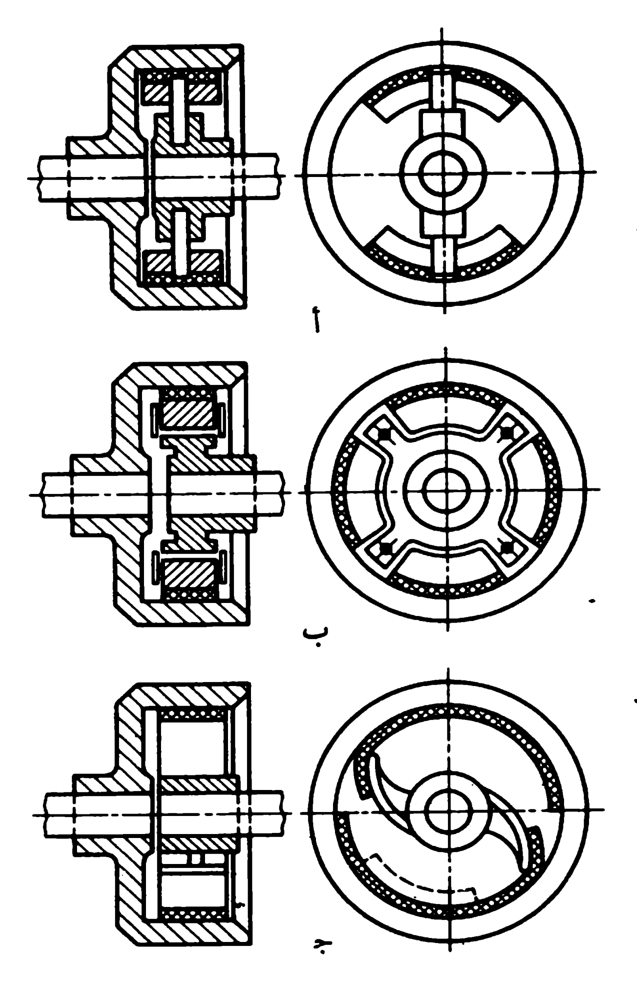
وبالتعويض فى المعادلة (24.26) عن قيمة N_1 من المعادلة (24.25) ، وبحلها بالنسبة الى $M_{t\,des}$ ، نحصل على صيغة لحسابات الاختيار

$$M_{t\,des} = \frac{z p_{max}^2\, ldr \tan \frac{\alpha}{2}}{0.35E} \text{ kgf} \cdot \text{cm}. \tag{24.27}$$

ان ضغط اليايات وقوى القصور الذاتى ، فلا تدخل فى الحساب لتبسيطه. وهذا لا يغير من الصورة العامة اذ ان القوى التى لم تدخل فى الحساب تساعد فى مجموعها على عملية الاسفنة.

<u>قوابض الطرد المركزى</u>. وتقوم بوظيفة تعشيق (أو فك تعشيق)

الاعمدة عند وصول العمود القائد الى سرعة معينة فى دورانه. وهى تستخدم فى العادة فى ادارة الماكينات ذات عزوم الحدافات الكبيرة الناتجة فى المحركات اللاتزامنية ذات العضو الدوار بالملف القفصى (الملف المقصر)، ومثلا فى وسائل ادارة الطاردات المركزية واوعية الغسالات الكهربية والناقلات الشريطية، وما الى ذلك. ويفسر هذا بأن المحركات اللاتزامنية الاعتيادية ذات الاعضاء الدوارة بالملف القفصى تتمتع بعزم تشغيل (ابتداء الدوران) قليل نسبيا، وبعزم اقصى أقل، الامر الذى يتم التوصل اليه اثناء الدوران؛ بينما يلزم للبدء فى تدوير الماكينات ذات الكتل الكبيرة، عزم بدء تدوير كبير بالذات. وبمساعدة قوابض الطرد المركزى يمكن للمحرك (بدون حمل فى البداية) ان يدور بسهولة، ثم بعد أن يكتسب سرعة معينة يقوم بتدوير الماكينة العاملة. والنتيجة أن تجرى عملية بدء الدوران (التشغيل) بهدوء وبدون تحميل المحرك او الماكينة العاملة بحمل اكثر من اللازم. وفى وسائل الحركة ذات الظروف الصعبة لبدء الدوران يسمح استخدام قوابض الطرد المركزى باستعمال محرك ذى قدرة أقل.



الشكل ٢٤ - ٣٨

وتختلف قوابض الطرد المركزى عن القوابض الاحتكاكية العادية فقط من جهة وسيلة ضغط الاسطح الاحتكاكية. فمن الممكن مبدئيا استعمال تصاميم القوابض الطرد المركزى تكون فيها الاسطح الاحتكاكية من اى طراز (انظر ص ٤٦٩)، مضغوطة بواسطة قوى الطرد المركزى للقصور الذاتى. ولقد حصلت على اوسع انتشار قوابض الطرد المركزى ذات الاسطح الاحتكاكية من الطراز القطرى (ذات الاحذية او الاشرطة)، وفيها تضغط قوة الطرد المركزى الاسطح المحتكة مباشرة. أما فى القوابض المحورية (ذات الاقراص او المخروطية)، يلزم لهذا استعمال آلية روافع ايضا تقوم هذه الالية بتحويل قوى الطرد المركزى الموجهة قطريا الى قوى محورية.

وأبسط تصاميم قوابض الطرد المركزى مبينة فى الشكل ٢٤ - ٣٨. وتعتبر فيها السرة ذات الاحذية "الحرة" (الشكل ٢٤ - ٣٨، أ، ب)، أو الشريط (الشكل ٢٤ - ٣٨، ج)، الجزء القائد فى القابض، أما

المنقاد - فيكون اسطوانة تضغط الاحذية على حافتها بفعل قوى الطرد المركزى.

والقوة اللازمة لضغط الاحذية P_i تحدد من الصيغة (24.9) ، وهى الصيغة العامة لكل القوابض الاحتكاكية، أما كتلة الحذاء m ، فمن العلاقة :

$$P_i = \frac{mv^2}{r},$$

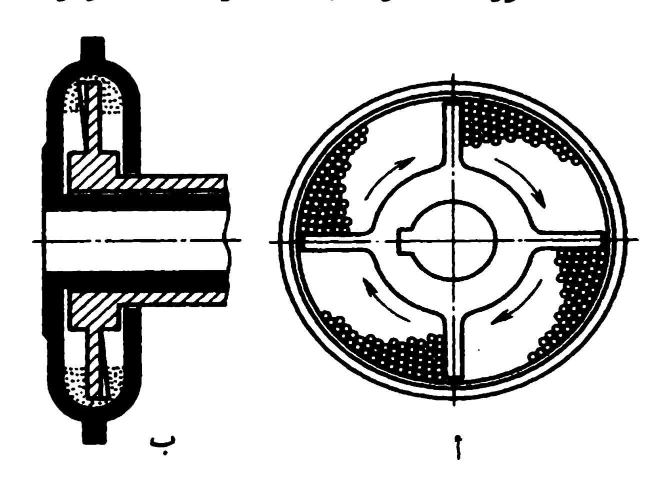
حيث m - كتلة الحذاء الواحد ؛

r - المسافة من محور الدوران الى مركز ثقل الحذاء ؛

v - السرعة المحيطية للحذاء .

وأبعاد الاسطح المحتكة تحسب وتراجع من الصيغ الواردة في ص ٤٧٤ .

وفى بعض الحالات يجب ان تتم عملية اكتساب السرعة وفق قانون معين، يرتبط بالمواصفات الميكانيكية للمحرك وللماكينة العاملة. لذا تزود قوابض الطرد المركزى بيايات مشدودة ابتدائيا أو باجهزة ايدرولية، تنظم بها ازاحات الاحذية الاحتكاكية بواسطة قوة الياى أو بتدفق الزيت بين فرغات يفصل بينهما صمام.



الشكل ٢٤ - ٣٩

وتعتبر قوابض الكريات والمساحيق الموضحة رسومها التخطيطية فى الشكل ٢٤ - ٣٩، انواعا جديدة نسبيا وجديرة بالاهتمام، من بين قوابض الطرد المركزى، حيث تطورت بشكل واسع فى السنوات الاخيرة.

وفى قابض الطرد المركزى بالكريات (الشكل ٢٤ - ٣٩، أ)، يكون الجزء القائد هو عجلة ذات ريش، اما المنقاد فاسطوانة مقفولة الطرفين . والحجرات المتكونة من الريش والاسطوانة تشحن بالتساوى بواسطة كريات ذات اقطار ٥ - ١٠ مم؛ ويضاف من ١٠ الى ١٥ جرام من الزيت لكل كيلوجرام من الكريات. وعند زيادة عدد لفات العجلة ذات الريش، تزداد قوة الطرد المركزى التى بدورها تضغط الكريات على حافة الجزء المنقاد من القابض.

وعزم اللى الذى ينقله القابض، يزيد بالتناسب مع مربع سرعة الدوران . وفى نهاية فترة اكتساب السرعة يزيد هذا العزم بشدة بالمقارنة مع القيمة المتوسطة فى فترة الانزلاق. ويفسر هذا بالانتقال

من احتكاك الحركة (سواء التدحرج أو الانزلاق) الى احتكاك السكون. وعزم الحمل الزائد عن الحد فى القابض يمكن أن يصل الى ضعف عزم ابتداء الحركة تقريبا.

وتصنع اجزاء القابض فى العادة من الحديد الزهر، أما اذا كان القابض يعمل بسرعة دوران كبيرة، فتصنع الاجزاء من الصلب. ويجب تجديد زيت التزييت دوريا.

وخلافا عن قوابض الكريات، ففى قوابض المساحيق (الشكل ٢٤ - ٣٩، ب) فان الجزء الداخلى للقابض، وهو بهيئة قرص معرج - ليس قائدا بل منقادا فى القابض، ويقوم بوظيفة الجزء القائد، جسم ذو سطح داخلى أملس مزود بزعانف من الخارج للتبريد، والوسط الذى يقوم بنقل عزم اللى هو عبارة عن كريات من الصلب دقيقة الحجم او كريات صغيرة من الحديد الزهر، وهى تلك المستخدمة فى اجهزة معالجة السطوح بالمقذوفات، او مسحوق مضاف اليه الجرافيت.

وعند دوران العمود القائد ومعه الجسم، يقذف بالكريات أو المسحوق تحت تأثير قوى الطرد المركزى، الى الحواف وتضغط على القرص المعرج المركب على العمود المنقاد.

ويعتبر النوع الثانى من نوعى قوابض الطرد المركزى اللذين وردا أعلاه، ابسطهما، كما أنه يسمح باجراء التبريد.

الباب الخامس والعشرون

محامل الانزلاق

معلومات عامة

تقسيمها . المحامل القطرية تسمى بكراسى المحاور، اما المحامل الصادة فتسمى بالكعوب. وكراسى المحاور يمكن تصنيفها حسب حلقات مختلفة. والشكل ٢٥ - ٤ يوضح تصنيفها حسب صفاتها الاساسية.
المزايا والعيوب. اهم مزايا كراسى محاور الانزلاق : التوجيه الادق للعمود حيث ان عدد الاجزاء المؤثرة على الدقة اقل من عددها فى محامل التدحرج ، وجود طبقة من زيت التزييت بين مقعدة العمود بين لقمة كرسى المحور الذى يكون وسادة زيتية تخفف من تأثير الدفعات والصدمات التى تنتقل الى جسم الماكينة من عمودها ، العمل بسرعات دوران عالية يكون عندها عمر خدمة كراسى محاور التدحرج صغيرا ، امكانية فكها ، وهذا امر ضرورى اثناء تجميع اعمدة المرفق مثلا ، امكانية العمل بزيت تزييت متسخ ، اى فى الظروف التى تصبح عندها كراسى محاور التدحرج غير قادرة على العمل .
واهم عيوب كراسى محاور الانزلاق : الفقد الكبير فى الاحتكاك اثناء فترات بدء الادارة، وكذلك الفقد الكبير فى الاحتكاك فى فترة العمل المستقر ايضا ، عندما لا يمكن توفير نظام التغذية بالسائل ، وكذلك تآكل قطاعات المحاور والاعمدة الموجودة فى كراسى المحاور.

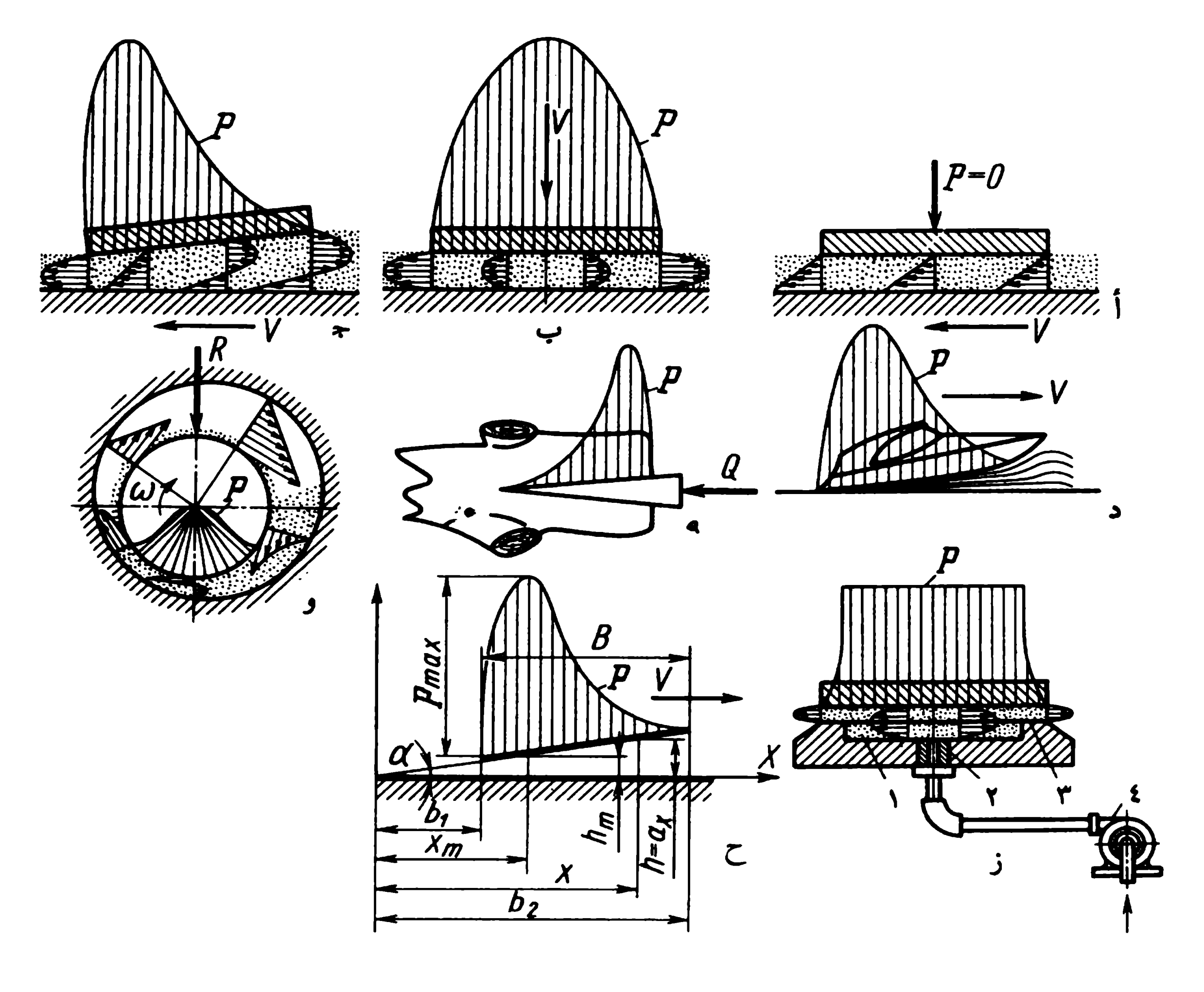
اسس نظرية محامل الانزلاق

الاحتكاك في المحامل . تبعا لنظام عمل المحمل وظروف تزييته يمكن ان يكون الاحتكاك شبه جاف، او حديا ، او بالسائل والاحتكاك بالسائل. يعتبر الافضل ، حيث انه ينفى تماما التلامس المباشر بين اسطح التحميل ، وحيث لا يوجد عمليا التآكل .
وللمحافظة على طبقة السائل في الخلوص بين سطحين ، يجب خلق ضغط زائد بينهما . وتحريك احد السطحين بموازاة السطح الاخر لا يسبب انخفاض للضغط فى طبقة الزيت. وسرعة الطبقات المسببة للبلل (الملتصقة مباشرة بمرتكز العمود) ، نتيجة لامتزاز زيت التزييت تساوى سرعة الاسطح الصلبة، وهى تتغير عبر سمك الطبقة بمعادلة الخط المستقيم من الصفر الى v (الشكل ٢٥ - ١ ، أ) .

وعند تقارب سطحين يتعامد احدهما على الاخر، بسرعة v ، يظهر فى طبقة الزيت ضغط ناتج عن تسرب الزيت من الخلوص، ذلك التسرب المتباطئ بفعل لزوجة زيت التزييت. وطبقة الزيت هذه تتمتع بمقدرة حمل. وتتغير الزيت عبر سمك طبقته حسب معادلة القطع المكافىء (الشكل ٢٥ - ١ ،ب).

وعندما يكون اتجاه تحرك المستوى الاسفل كما هو مبين فى الشكل ٢٥ - ١ ، جـ) ، وكذلك المستوى العلوى الموضوع بزاوية ثابتة بالنسبة للمستوى السفلى ، يدخل الزيت من الجانب الواسع فى الخلوص الاسفينى ، ويخرج من الجانب الضيق .

ويتحدد كل من الضغط فى طبقة الزيت ومقدرته على الحمل فى هذه الحالة بالتغذية الدائمة بالزيت فى الخلوص من جانب السطح



الشكل ٢٥ - ١

المتحرك، وكذلك بالمقاومة اللزجة للزيت اثناء خروجه من الفراغ الاسفينى . وسرعة الزيت فى المقاطع المختلفة للخلوص يحصل عليها عن طريق جمع منحنيات التوزيع المذكورة. والضغط الداخلى - الهيدروديناميكى ، يؤدى الى ان احد السطحين "يطفو" على طبقة السائل ، مثلما يحدث فى حالة القارب البخارى المتحرك بسرعة عالية على سطح الماء (الشكل ٢٥ - ١ ،د) .

وقوة فتح الاسفين P تتكون فى حالة الاسفين السائل نتيجة للسرعة النسبية v ، بينما تتكون فى حالة الاسفين الصلب نتيجة لتأثير القوة Q (الشكل ٢٥ - ١ ، هـ) .

وفى كرسى المحور الاسطوانى تتكون طبقة الزيت ذات الشكل الاسفينى نتيجة لوضع مرتكز العمود بصورة لا مركزية فى كرسى المحور ، بسبب الخلوص الموجود بينهما (الشكل ٢٥ - ١ ، و) . وآلية ظهور الضغط الهيدروديناميكى فى الجزء المحمل من الكرسى المحور لا تختلف عن الالية المبينة فى الشكل ٢٥ - ١ ، حـ .

وفى حالة السرعة النسبية الصغيرة بين الاسطح المحتكة يمكن تكوين الضغط فى طبقة الزيت بضخ زيت التزييت تحت ضغط من الخارج . والمحمل الهيدروستاتيكى (الشكل ٢٥ - ١ ، ز) ، قائم فى عمله على هذا المبدأ .

والغالبية الساحقة من المحامل ذات الاحتكاك بالسائل تعمل تحت ظروف النظام الايدروديناميكى .

ويعتبر العالم المهندس الروسى بيتروف (١٨٣٦ - ١٩٢٠) هو موءسس النظرية الهيدروديناميكية للتزييت فى وحدات محامل الماكينات .

ان تغير الضغط على طول الخلوص الاسفينى الشكل فى حالة السريان الثنائى الاتجاه (حيث يفترض ان تسرب الزيت من الطرفين لا يحدث نتيجة للامتداد اللانهائى للخلوص فى الاتجاه المتعامد مع السرعة v) ، يعبر عنه فى معادلة رينولدز

$$\frac{dp}{dx} = 6\mu\, v\, \frac{h - h_m}{h^3} \qquad (25.1)$$

حيث μ - معامل اللزوجة الديناميكى للزيت ؛

v - سرعة الازاحة النسبية للسطحين ؛

h_m - مقدار الخلوص فى المقطع الذى فيه $p = p_{max}$ (الشكل ٢٥ - ١ ، ح) ؛

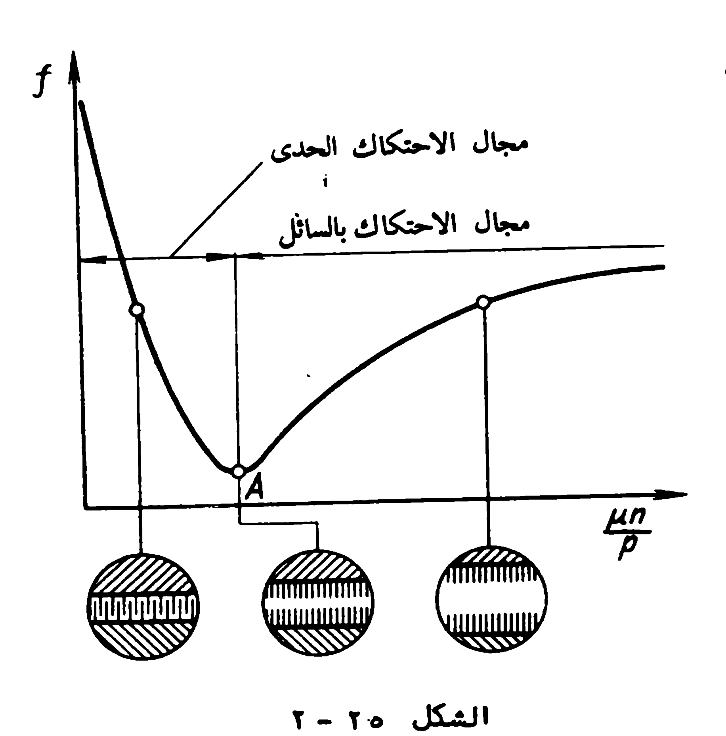
h - مقدار الخلوص عند المقطع ذى الاحداثى السينى x .

واذا كان السطحان متوازيين ، فان سريان السائل فى الخلوص لا يمكنه ان يجابه التحميل من الخارج ، وبناء على ذلك يكون نظام الاحتكاك السائل غير قابل للتحقيق.

فواقد الاحتكاك. تكون فواقد الاحتكاك فى محامل الانزلاق اكبر كلما كان معامل الاحتكاك f اكبر ، وتؤخذ هذا المعامل تبعا لبارامتر نظام عمل المحمل . ويبين الشكل ٢٥ - ٢ الرسم البيانى للعلاقة بين معامل الاحتكاك f وبين البارامتر $\frac{\mu n}{p}$. وهنا n - عدد لفات العمود فى الدقيقة، p - الضغط النوعى على المحمل .

وعند النقطة A التى تسمى بالنقطة الحرجة، ينتقل الاحتكاك من

الاحتكاك الحدى الى الاحتكاك بالسائل او بالعكس. ويبين هذا الرسم البيانى ان معامل الاحتكاك بالسائل يمكن ان يكون مقدارا يقارب مقدار معامل الاحتكاك الحدى. وهنا ايضا يتضح طابع توزيع جزيئات مادة التزييت على الاسطح المتقارنة مع اختلاف انظمة الاحتكاك.



الشكل ٢٥ - ٢

ومعامل الاحتكاك بالسائل يتراوح بين ٠٠١ر٠ و ٠٠٥ر٠، أما معامل الاحتكاك الحدى فيعتمد على جودة زيت التزييت واسطح الاحتكاك ويساوى ٠٠٨ر٠ الى ١٥ر٠ وقيم f فى حالة الاحتكاك الحدى بالنسبة لعمود من الصلب وكراسى محاور من مختلف المواد واردة فى المراجع.

وعزم الاحتكاك فى كرسى المحور، وفاقد القدرة يحددان من الصيغتين :

$$M_{fr} = \frac{Rdf}{2} \text{kgf} \cdot \text{mm}, \quad N_l = \frac{Rf\pi dn}{1000 \times 60 \times 102} kW$$

حيث R - الحمل الواقع على كرسى المحور - كجم ؛

f - معامل الاحتكاك ؛

d - قطر العمود بالمم ؛

n - عدد لفات العمود فى الدقيقة.

انواع الاعطاب. يذهب شغل قوى الاحتكاك فى المحمل فى تسخين وتآكل اجزاء المحمل. والتآكل فى وحدة كرسى المحور يؤدى الى تغير الشكل الهندسى للاسطح المحتكة وزيادة الخلوص، وينتج عن ذلك ان تختل مقدرتها على العمل، ومواد كراسى المحاور اللدنة (مثل البابيت واللدائن) عندما تتآكل، تتفضن فى الوقت نفسه، وعلى الرغم من ان شكل الفتحة يتغير بعض الشىء اثناء ذلك - من دائرة الى قطع ناقص - فان الطول الكلى لاسفين الزيت يبقى دون تغيير عمليا (الشكل ٢٥ - ٣، أ).

وتآكل كرسى المحور المصنوع من مادة قصيفة (البرونز والحديد الزهر) لا يصاحبه تغضن لحدود التآكل، ونتيجة لذلك فان تقلص طول اسفين الزيت يكون واضحا (الشكل ٢٥ - ٣، ب).

وكراسى المحاور العاملة بنظام الاحتكاك الهيدروديناميكى تتآكل فقط فى فترات بدء التشغيل وفترات ايقاف الماكينة، عندما لا يتكون الضغط اللازم لتكوين طبقة سميكة من زيت التزيين بسبب السرعة

النسبية الصغيرة، تلك الطبقة التى تفصل بين السطحين الصلبين.

وفى حالة السرعات الصغيرة للعمود يبقى نظام الاحتكاك الحدى فى كل فترة عمل المحمل ، ويحدث تآكل الاسطح دون انقطاع وبكثافة تعتمد على مواد الاسطح وبارامترات النظام.

وعند الزيادة عن السرعات المقررة، وعدم كفاية التزييت، او الضغوط الكبيرة تزيد درجة حرارة كرسى المحور ويقع العض- اخطر اشكال التحطم.

ويعتبر تشقق الطبقة السطحية نتيجة للكلال ، وما يتبع ذلك من تفتت قطع البابيت، شكلا منتشرا من اشكال تحطم كراسى المحاور ذات الاحمال النابضة .



الشكل ٢٥ - ٣

يوضح الشكل ٢٥ - ٣، ج لقمة كرسى محور محرك احتراق داخلى ، عانت طبقتها الاحتكاكية من التحطم الكلالى .

معايير الحسابات. يجرى حساب كراسى محاور الانزلاق تبعا لنظام العمل المفروض .

واذا كانت وحدة المحمل مخصصة للعمل فى ظروف الاحتكاك الحدى ، يجرى حساب المتانة حسب اجهاد التلامس بالضغط σ_{sur} ،او بواسطة الحد من الضغط النوعى الافتراضى p ، وبواسطة تلافى العض حسب المعيار الافتراضى pv (انظر ص ٥٢٢) .

اما اذا كانت هذه الوحدة عليها ان توفر العمل فى ظروف الاحتكاك السائل ، فيتلخص عندئذ الحساب فى تعيين الخلوص القطرى بين المرتكز وكرسى المحور ، ومع اختيار الخلوص، تختار اللزوجة اللازمة للزيت .

ويعتبر الحساب الحرارى جزءا لا يتجزأ من الحساب على الاحتكاك السائل ، حيث ان ارتفاع درجة الحرارة غير المسموح به، قد يؤدى الى فقدان وحدة المحمل لقدرتها على العمل .

كراسى محاور الانزلاق
غير القابلة للفك
القابلة للفك
المبنية في الأجزاء
القائمة بذاتها
المبنية في الأجزاء
القائمة بذاتها
غير القابلة للضبط
القابلة للضبط
غير القابلة للضبط
ذات الاسفين الزيتى الواحد
متعددة اسافين الزيت
ذات الاسفين الزيتى الواحد
متعددة اسافين الزيت
ذات الاسفين الزيتى الواحد
أ
ب
ج
د
هـ
ذات الأسفين الزيتى الواحد
متعددة اسافين الزيت
ذات الأسفين الزيتى الواحد
متعددة اسافين الزيت
بجلبة من جزئين (لقمتين)
بجلبة من ثلاثة او اربعة اجزاء (لقم)
بجلبة من جزئين (لقمتين)
بقطع عائمة
بجلبة من جزئين (لقمتين)
بقطع عائمة
و
ز
ح
ط
ى
ك

الشكل ٢٥ - ٤

وبالنسبة للمحامل العاملة فى ظروف النظام الهيدروديناميكى ، يجب ايضا اجراء مراجعة حسب المعيار pv ، حيث ان عمل المحور فى فترة البدء فى التشغيل وفترة الايقاف، يجرى فى ظروف الاحتكاك الحدى ، وفيها لا يستبعد خطر العض بين الاسطح المتقارنة.

تصاميم المحامل وموادها

تصاميم كراسى المحاور. الشكل ٢٥ - ٤ ، ا - ل يبين اكثر تصاميم كراسى المحاور انتشارا .

وكراسى المحاور غير القابلة للفك مزودة بجلب من مادة مضادة للاحتكاك (مثل الحديد الزهر ، والبرونز وغيرهما) ، تركب بالكبس ، او تمنع من الدوران بلوالب ايقاف (الشكل ٢٥ - ٤ ،أ ، هـ) .

وتصاميم المحامل المبينة فى الشكل ٢٥ - ٤ ، أ ، هـ) تستخدم للاعمدة البطيئة الدوران وذات الاحمال غير الكبيرة.

واهم عيوب كراسى المحاور من هذا الطراز - ضرورة ادخال المرتكر فقط من الطرف، واستحالة تعويض زيادة الخلوصات فى كراسى المحاور مع تآكلها .

وبغرض زيادة عمر خدمة كراسى المحاور غير القابلة للفك، تستخدم جلب " شبه زنبركية " سطحها الخارجى مخروطى (الشكل ٢٥- ٤ ، جـ). وهذه الجلب مشقوقة على طول ثلاثة رواسم (او عدد اكبر) من رواسمها بربع طول الراسم. وبازاحة الجلبة على طول محورها بواسطة صامولتين ، يقل بذلك قطرها ، ويعدل الخلوص المتكون نتيجة التآكل .

ولقد حصلت كراسى المحاور من هذا التصميم على انتشار واسع فى المخارط الاعتيادية والبرجية، وماكينات التفريز، وغيرها من ماكينات التشغيل .

وليس لكراسى المحاور القابلة للفك مثل هذه العيوب .

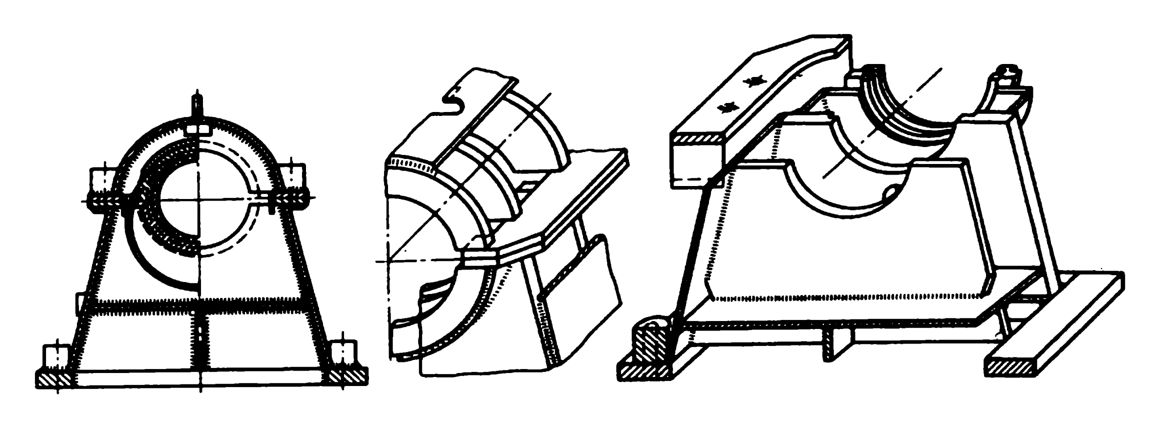
ولاعفاء مسامير الرباط من احتمال تعرضها لقوى عمودية على مقاطعها ، ينفذ سطح التحام غطاء كراسى المحور مع جسمه بنتوء (الشكل ٢٥ - ٤ ، ح ، ك) .

وجسم كراسى محور الانزلاق يمكن ان يكون مسبوكا او مجمعا باللحام . والشكل ٢٥ - ٥ يبين تصميما مجمعا باللحام لكرسى محور قابل للفك .

وكثيرا ما تكون كراسى اللحام مبنية فى نفس هيكل او قاعدة الماكينة او جسمها ، كما هو عليه الحال فى مرفاعات البكرات (الشكل ٢٥ - ٤ ، أ) او ماكينات التشغيل (الشكل ٢٥-٤ ،هـ ، ح) ، او فى مخفضات السرعة (الشكل ٢٥ - ٤ ،و) ، او الالات البخارية

(الشكل ٢٥ - ٤، ز)، او التوربينات (الشكل ٢٥ - ٤، ط) .

يمثل الشكل ٢٥ - ٦ كرسى محور لمخفض سرعات عالية. وهذا الكرسى مزود بمضخة ترسية لضخ الزيت الى الكرسى، وبترمومتر لمراقبة درجة حرارته.



الشكل ٢٥ - ٥

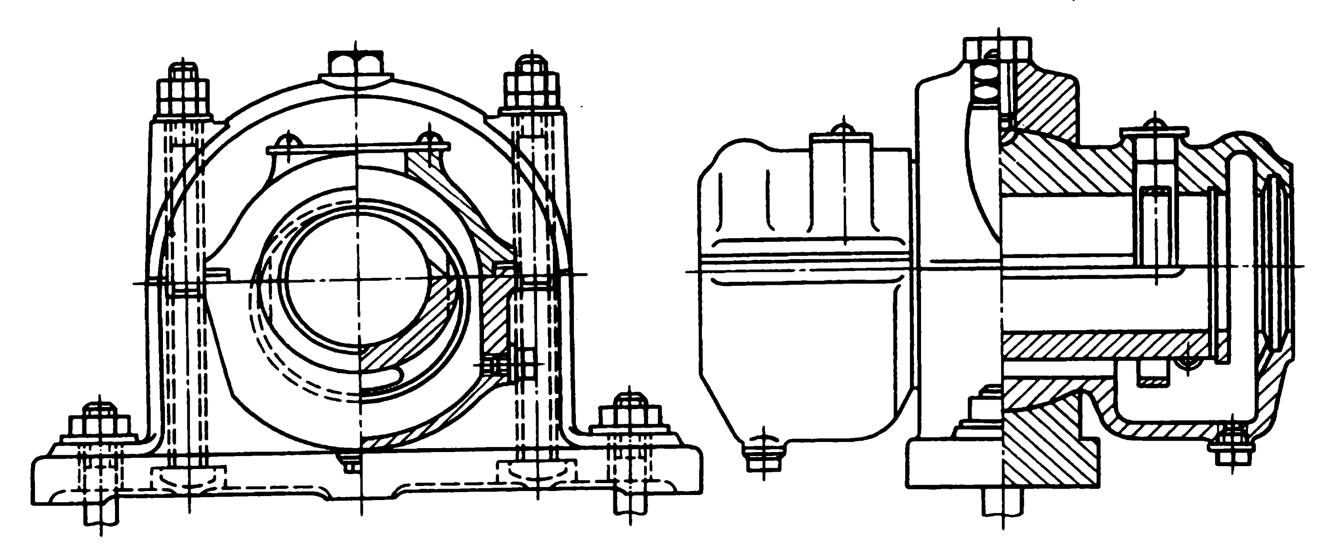
الشكل ٢٥ - ٦

وبدلا من الجلبة، تستخدم فى كراسى المحاور القابلة للفك، جلب من جزئين او اكثر (لقم). واذا كان السطح الداخلى للقم، يجب ان يغطى بمعدن مقاوم للاحتكاك (مثل البرونز، والبابيت وغيرهما)، فان اللقمة نفسها تصنع من الصلب او الحديد الزهر.

ومع تقليل سمك طبقة الكسوة، ترتفع متانتها الكلالية. فمثلا اذا كان سمك طبقة البابيت ٥ر. مم بدلا من ٢ مم، فان متانة الكلال تزداد الى ١٠ مرات.

ويتراوح سمك طبقة الكسوة المضادة للاحتكاك بين ٣ر. الى ٦ مم.

وللربط بين مادة الكسوة واللقمة، تجهز الاخيرة بتجاويف مختلفة على هيئة لولب او مجارى خاصة فى صورة مجرى عنفارى (انظر الشكل ٢٥ - ١١، ب)، يمتد طوليا او عرضيا.



الشكل ٢٥ - ٧

وطول سطح الارتكاز فى اللقمة l، يختار بحيث تكون النسبة بينه وبين قطر مرتكز العمود فى حدود ٥ر. - ١ر١ اما بالنسبة لكراسى محاور الانزلاق القصيرة، والمصنوعة فى حدود ابعاد كراسى محاور التدحرج $\frac{l}{d} = 0.3 \div 0.4$.

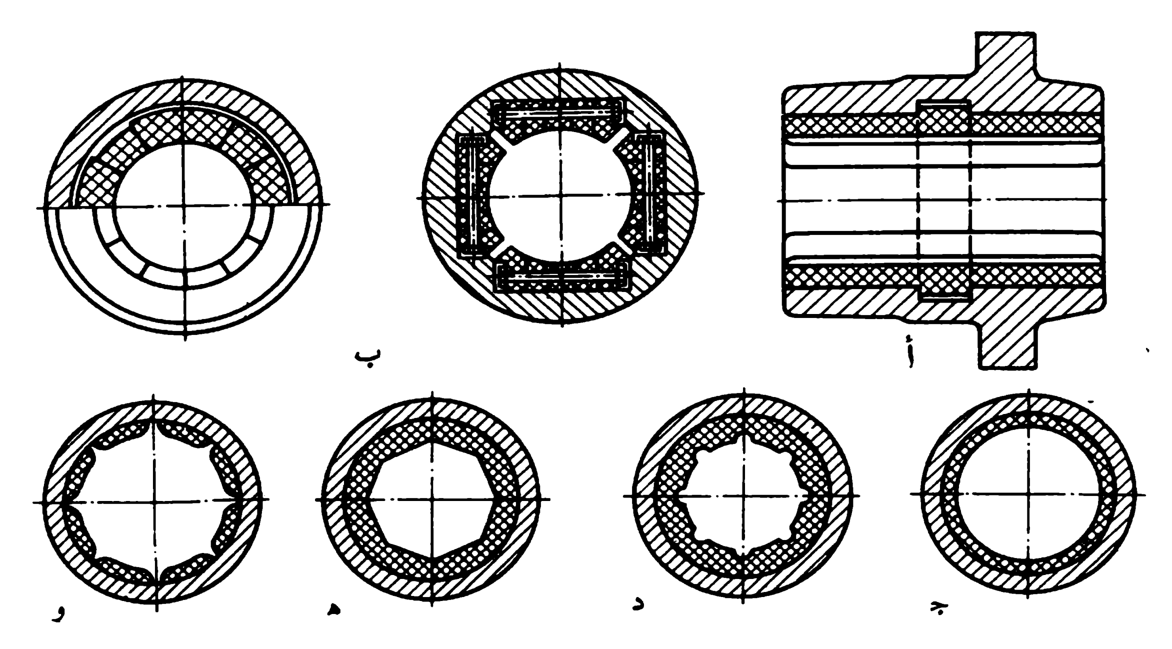
وزيادة طول كرسى المحور l تؤدى الى تقليل الضغط المتوسط والى زيادة حساسية وحدة المحمل كلها بالنسبة لانحراف العمود. والزيادة الكبيرة غير المسموح بها فى انحرافات العمود فى كرسى محوره تؤدى الى الاخلال بمقدرة عمل المحمل نتيجة لتمزق طبقة الزيت عند اطراف كرسى المحور والى حدوث العض. والضغوط الطرفية خطرة بنوع خاص على اللقم المصنوعة من مواد قصيفة، مثلا الحديد الزهر.

وكراسى المحاور ذات النسبة $\frac{l}{d} = 1 \div 2$ تصنع بحيث ان تضبط وضعها ذاتيا (الشكل ٢٥ - ٧).

وتصنع اللقم احيانا على هيئة قطع دائرية تلتف حول العمود بزاوية $< 180°$. وهذا التصميم يستخدم بتوسع فى صناديق محاور

(axle-box) عربات السكك الحديدية، وتوضع فيه اللقمة فى الجزء العلوى حيث ان الحمل يوءثر على المحمل من اسفل الى اعلى .

وتزييت الوحدة فى حالة اتجاه الحمل غير المتغير، يتم كقاعدة عامة من خلال كرسى المحور. وتوجد فى كل من الجسم واللقم قنوات (ثقوب) ، اما على السطح الداخلى للقمة، فتوجد قنوات طولية



الشكل ٢٥ - ٨

وحلقية اضافية تسهل توزيع الزيت . ولتجنب انسداد القناة الموصلة للزيت ، تصنع الاخيرة فى المنطقة غير المحملة من المحمل.

ومتطلبات التوصيل المكثف لسائل التبريد ، الذى يقوم فى الوقت نفسه بوظيفة التزييت، تحدد تصميم اللقم المصنوعة من مواد غير معدنية.

ويبين الشكل ٢٥ - ٨ كراسى محاور ذات لقم مجمعة من قطع من لدائن نشارة الخشب (الخشب الحبيبى) ، وكذلك كراسى محاور مطاطية ملساء (أ ، حـ) او بمجارى (ب، د ، هـ، و) وذلك لتحسين تبريدها وللتخلص من الجزيئات المتفتتة.

ووظيفة قنوات توزيع زيت التزييت هى توزيع زيت التزييت على طول مرتكز العمود . واذا كان عمل كرسى المحور يحتمل قيامه فى ظروف الاحتكاك الحدى ، يمكن تقريب قنوات التوزيع من منطقة الضغط الاكبر.

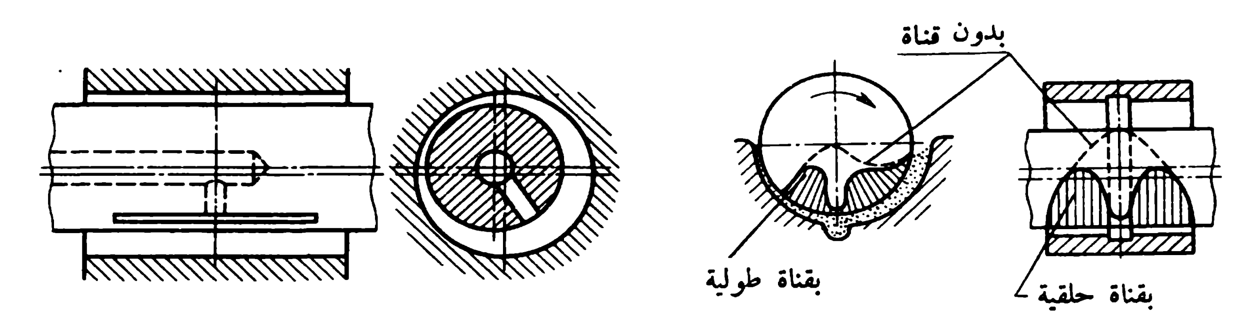
وفى كراسى المحاور العاملة فى ظروف الاحتكاك السائل يجب وضع قنوات التوزيع خارج منطقة الضغوط الهيدروديناميكية، وذلك تجنبا لتمزيق اسفين الزيت الحامل (الشكل ٢٥ - ٩) .

والقنوات الموضوعة وضعا مستعرضا بالنسبة لاتجاه الحركة، يجب ان تنتهى داخل كرسى المحور والا تستمر الى خارجه . كما يجب ان يكون دخول القنوات الى السطح العامل دخولا تدريجيا .

واذا كان كرسى المحور يدور حول محور ثابت (محامل العجلات

المنقادة فى عربات الجر، وكراسى محاور البكرات الحرة، والتروس الحرة وغيرها) ، من الافضل ايصال زيت التزييت من خلال المحور (الشكل ٢٥ - ١٠). علما بان قنوات توزيع زيت التزييت تفتح على سطح المحور او العمود بنفس فكرة فتحها فى المحامل ذات الاعمدة الدوارة.

وفى حالة سرعات الدوران العالية (عدد اللفات) للاعمدة يمكن ان يكون الضغط الناتج فى طبقة الزيت اكبر من الحمل الخارجى. وعند



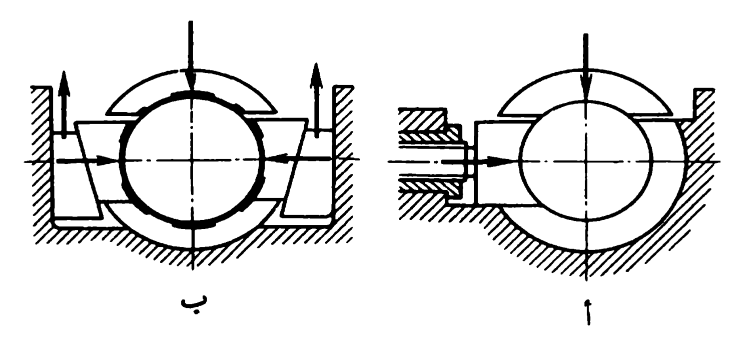
الشكل ٢٥ - ١٠ الشكل ٢٥ - ٩

الاخلال بالاتزان ، يمكن ان تسبب المؤثرات الخارجية الضئيلة (الهزات ، وعدم التوازن وما الى ذلك) اهتزازات كبيرة فى مرتكز العمود ذات تردد يساوى تقريبا نصف عدد لفات العمود.

وللتخلص من الاهتزازات تنفذ كراسى المحاور بعدة اسافين زيتية (انظر الشكل ٢٥ - ٤،ب). ومقدرة حمل هذه الكراسى تقل بعض الشىء ، ولكن فى نظير ذلك تظهر على الاسطح الاسفينية قوى متجهة الى المركز تعمل على مركزة العمود وتوفر دورانه المستقر.

وكراسى محاور الانزلاق ذات عدد مجارى الزيت الاكثر من المجرى الواحد تسمى بالكراسى الخالية من الاهتزازات.

ويمكن ضبط الخلوص فى كراسى المحاور المبينة فى الشكل ٢٥ - ١١ مع تأكل اللقمة فى اتجاهات مختلفة، وذلك بواسطة لولب (الشكل ٢٥ - ١١، أ) او اسافين (الشكل ٢٥ - ١١، ب). وتطيل عملية الضبط هذه من عمر خدمة كراسى المحاور.

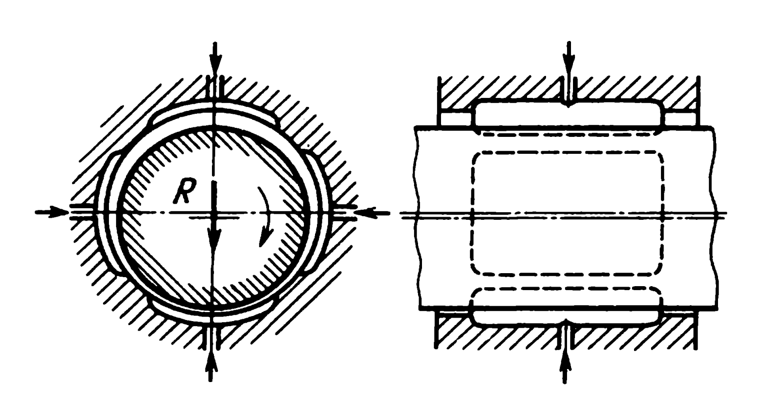


الشكل ٢٥ - ١١

ان كراسى المحاور الهيدروستاتيكية يمكن ان تأخذ اى شكل : فهى اما مسطحة، او اسطوانية، او مخروطية، او كروية. وفى كراسى المحاور من هذا الطراز ، يفصل بين اسطحها المحتكة بواسطة طبقة من زيت التزييت قبل البدء فى ادارة الماكينة ولا يؤثر تغيير

بارامترات نظام تشغيلها - السرعات والاحمال - على مقدرة المحمل على العمل .

لنبحث رسم تركيب كرسى المحور المسطح (أنظر الشكل ٢٥-١ ، ز) . يعتمد الضغط فى الحجرة ١ على النسبة بين المقاطع الانتقالية للفتحة العيارية ٢ والحافة الصادة ٣ . ومع زيادة الحمل ، يقل الخلوص عند محيط الحافة الصادة، ويزيد الضغط فى الحجرة، وذلك فى حدود تصل الى الضغط الذى تكونه المضخة ٤ .



الشكل ٢٥ - ١٢

وكراسى المحاور الهيدروستاتيكية تضمن مركزة العمود بدقة. ويوضح الشكل ٢٥ - ١٢ ، الرسم التخطيطى لكرسى محور اسطوانى باربع حجرات. وضغط الزيت فى الجيوب يكون اقل من ضغط فى الشبكة، وهو يحدد بالنسبة بين المقاومات الهيدروستاتيكية فى الفتحات العيارية، وبين المقاومات فى خلوصات كرسى المحور. ومع اتجاه الحمل المشار اليه يعتبر الجيب الاسفل هو الجيب الحامل . وفى الجيب العلوى الموجود فى قسم الخلوص الاوسع، لا يوجد ضغط . ولا تتلقى الجيوب الجانبية حملا ، حيث ان الضغط فيها يتوازن بالتبادل بينها . والسائل المتسرب عبر الجيب العلوى، والجيبين الجانبين تقوم بتبريد كرسى المحور .

ان انحراف الاعناق فى الاتجاه الاخر الحادث نتيجة لتغير اتجاه الحمل ، يؤدى الى زيادة ضغط الزيت فى حجرات المنطقة التى يتجه اليها الانحراف. وبناء على ذلك يحدث ضبط آلى لاستعداد كرسى المحو لتلقى الحمل كل مرة فى اتجاه متجه القوة .

وتستخدم كراسى المحاور الهيدروستاتيكية بنجاح فى ماكينات الدلفنة الضخمة، وفى التلسكوبات الضوئية واللاسلكية الضخمة، وفى هوائيات الرادار الكبرى ، وفى غير ذلك من المعدات الحديثة ، العاملة تحت احمال كبيرة وسرعات صغيرة .

تصاميم الكعوب. يخلو الكعب من الخلوص المضمون بين الاجزاء المتوافقة لذا تكون من الاهمية بمكان ظروف ايصال زيت التزييت الى الاسطح المحتكة.

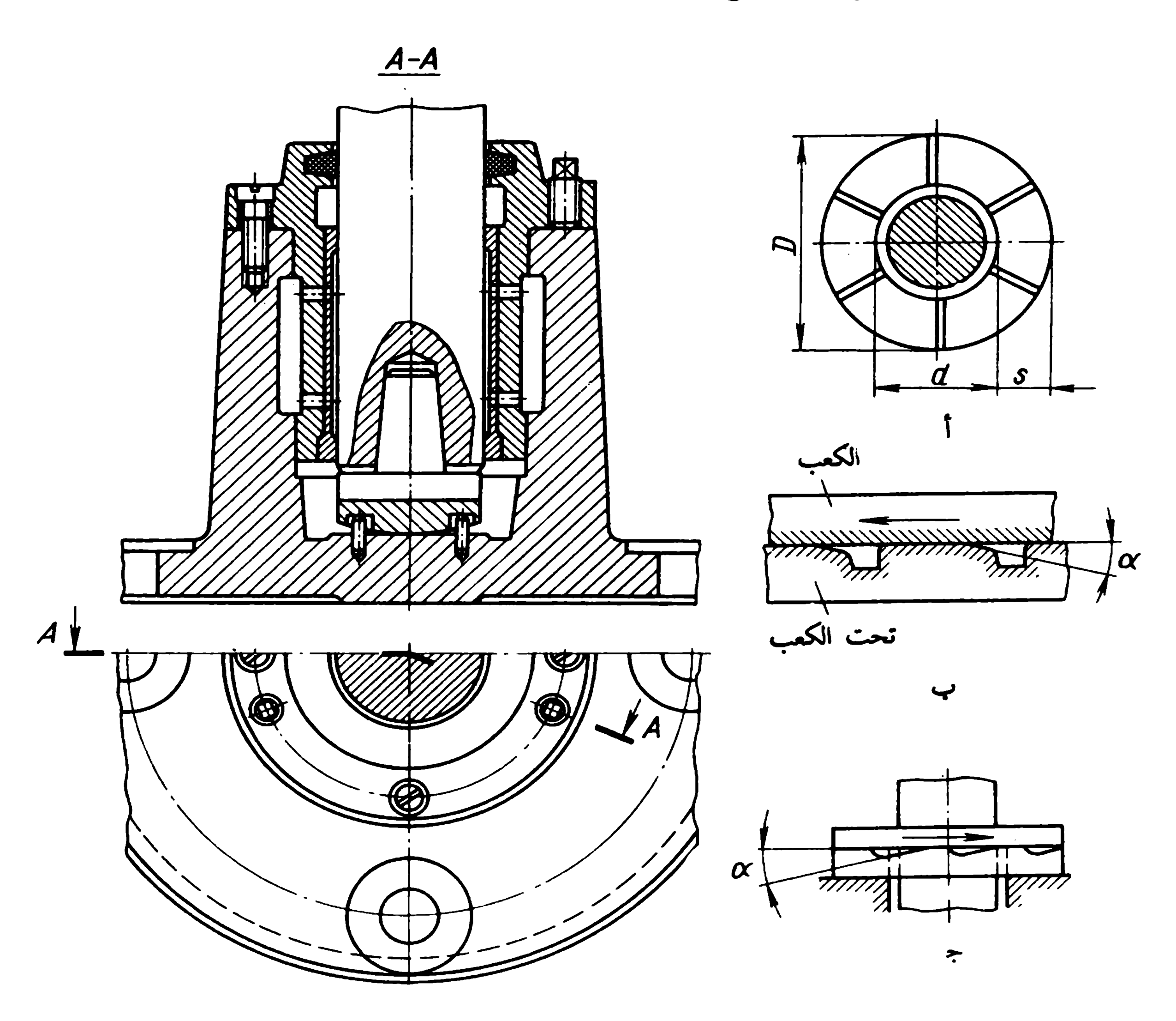
وفى المعتاد ان يكون لجزء الارتكاز فى الكعب شكل الحلقة ذات القنوات (الشكل ٢٥ - ١٣ ، أ) . ويسيل الزيت عبر الشقوق ، اما الشطوب الموجودة على قطع الحلقة (الشكل ٢٥ - ١٣ . ب) فتسهل وصول الزيت الى مكان التوافق. واذا ما كان الكعب

مخصصا للعمل فى ظروف انعكاس اتجاه دوران العمود ، فتصنع هذه الشطوب فى كلا اتجاهى القطعة.

ولتجنب حدوث زيادة الحمل الموضعية فى المحمل عند انحراف العمود المحتمل ، تصنع حلقة الارتكاز فى الكعب على صورة كروية وتركب على تيلات للتثبيت (الشكل ٢٥ - ١٣ ، د) .

ويمكن ان تكون للسطح العلوى فى الكعب المركب، صلادة عالية وان يسهل تغييره اثناء الاصلاح .

وفى الحالات عندما يكون هناك ممهدات لحدوث الاحتكاك السائل ، يضفى على القطع ميل احادى الاتجاه (الشكل ٢٥-١٣ ،



الشكل ٢٥ - ١٣

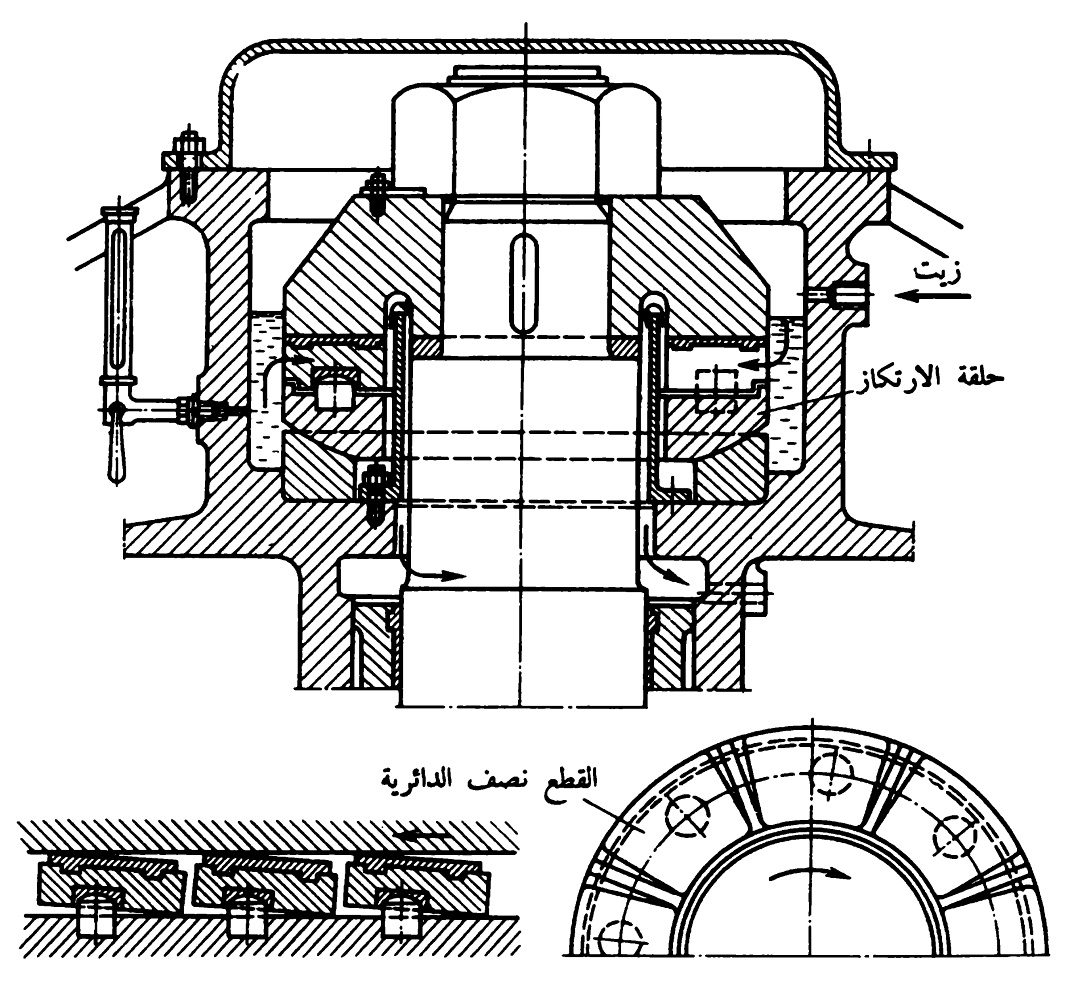
ب، حـ) ، وفق زاوية محسوبة مسبقا لاسفين الزيت. الا انه بفرض ضمان الاحتكاك السائل ، يكون اكثر امانا الاخذ بتصميم ذى قطع ترتب من وضعها ذاتيا ، يحدث فيه تكوين اسافين الزيت اثناء عمل المحمل اوتوماتيكيا (الشكل ٢٥ - ١٤) .

ويختار عدد القطع فى حدود من ٤ الى ١٦ .

وتصنع هذه القطع اما من الحديد الزهر او من البرونز، او من الصلب الذى يكسى بعد ذلك بالبابيت.

مواد كراسي المحاور والكعوب. يجب ان تكون لهذه المواد خواص مضادة للاحتكاك ، اى ان يكون معامل احتكاكها منخفضا ومقاومتها للتآكل جيدة، وان تكون غير سهلة لانصهار والتلاحم، او التآكل بالتشفيل ، وغير ذلك . ولكى يكون العمل سليما يجب ان تكون مادتا العمود وكرسى محوره زوجا مضادا للاحتكاك: وهذا يعنى انهما يجب ان يتمتعان بصلادة مختلفة وبمعامل احتكاك منخفض، ويجب الا يتمتعا بتألف فيزيائى - كيميائى .

وتتغير الصفات المضادة للاحتكاك بالنسبة لمادة واحدة، تبعا لظروف الاستغلال. فمثلا بعض انواع الحديد الزهر تتمتع بصفات طيبة مضادة للاحتكاك عند السرعات غير الكبيرة للانزلاق النسبى وعند توفر التزييت. وعدم مراعاة هذه الشروط يحدث فى



الشكل ٢٥ - ١٤

الوحدة زيادة حادة فى الفاقد على الاحتكاك وتآكل كبير فى الاسطح المتوافقة، وليس من النادر ان يحدث العض ايضا .

وتعتبر سبائك البرونز والبابيت سبائك مضادة للاحتكاك واسعة الانتشار.

وتتمتع سبائك البابيت بصلادة منخفضة ولدونة عالية ومقدرة على الاحتفاظ بطبقة سميكة من الزيت فوق سطحها. ولكون نواتج تآكل البابيت بالاحتكاك لينة وسهلة " الانتشار على

السطح " ، فانها بذلك تمنع احد اخطر اسباب العض .
ويعتبر البابيت عالى نسبة القصدير من ماركة Б83 افضل سبائكه. وهو يحتوى على ١١ ± ١ ٪ من الانتيمون ، ٦ ± ٥ ٪ من النحاس ، وما لا يزيد عن ٠٫٥٥ ٪ شوائب، والباقى (٨١ - ٨٤٪) قصدير. وسبائك البابيت القصديرى مقاومة جيدة لاحمال الصدمات .
ومن عيوب البابيت ، درجة حرارة انصهاره المنخفضة (٢٤٥° مئوية للبابيت Б83) ، مما يجعل استخدام هذه السبائك فى المحامل عالية الاحمال ، غير ممكن . ويجب عند اختيار ماركة البابيت، تذكر ضرورة الاقتصاد فى استعمال المعادن غير الحديدية وخصوصا القصدير.
سبائك البرونز . تتمتع هذه السبائك بصلادة تفوق صلادة البابيت مما يجعل قابليتها للتليين اسوأ ، كما يصبح من الخطورة بدرجة ما انفصال النواتج الصلبة للتآكل بالاحتكاك ووجودها فى منطقة تماس الاسطح المحتكة.
وكراسى المحاور البرونزية تتطلب تزييتا يعول عليه بشكل افضل من حالة الكراسى المصنوعة من سبائك من البابيت . ودرجة انصهار البرونز حوالى ١٠٠٠° مئوية وهى اعلى بكثير من درجة انصهار البابيت .
وحصلت السبائك الرخيصة للنحاس والحديد فوق اساس الومينيومى حصلت على انتشار واسع. ففى السرعات الصغيرة للانزلاق النسبى يمكن لهذه السبائك ان تحل محل لا البرونز فحسب، بل ايضا لبابيت.
وبعض سبائك النحاس الاصفر ، وسبائك النحاس الاحمر وسبائك الالومينيوم على اساس من الزنك تتمتع بخواص مضادة للاحتكاك.
وفى حالة سرعات الانزلاق النسبى المنخفضة (حتى ١-٢متر/الثانية) والتزييت الوفير يستخدم الحديد الزهر المضاد للاحتكاك . والعمل الامن لهذه المادة فى المحامل يفسر بالشكل الخاص بالمحتوى الجرافيتى فيها الذى يقوم بوظيفة مادة تزييت اضافية. وبسبب قصافة الحديد الزهر، لا يستخدم لصنع المحامل المعرضة للصدمات.
وجلب كراسى المحاور المصنوعة من السيراميك المعدنى تصنع بطريقة الخبز. تحت ضغط ، او ببرادة البرونز ومسحوق الجرافيت ، او برادة الصلب الكربونى المنخفض .
وبفضل التركيب المسامى للجلب (اللقم) المصنوعة من السيراميك المعدنى ، تتجمع فى هذه المسام كمية من الزيت، وتخرج الى السطح بمجرد تسخين اللقم اثناء عملها . لذا يمكن للجلب المصنوعة من السيراميك المعدنى ان تعمل فترة طويلة بتزييت شحيح ، ولكن بشرط ان يكون تحميلها هادئا وخاليا من الصدمات.
وفى بعض الاحيان تطلى الاجزاء المصنوعة من الصلب بطبقة

من الكروم المسامى بواسطة الترسيب الكهربى . ومثل هذا الطلاء بصلادته العالية ونعومة سطحه الشديدة يساعد على مقاومة التآكل بالاحتكاك، اما شبكة القنوات الميكروسكوبية على سطحه فتقوم بمد منطقة التماس بالزيت باستمرار.

وتدخل فى عداد مجموعة المواد غير المعدنية، الانواع الصلدة من الاخشاب (مثل البلوط، والحور، وغيرهما) والمطاط، وبعض انواع لدائن البلاستيك.

وترتبط خواص هذه المواد المضادة للاحتكاك، بقابليتها الجيدة على التلبيين اثناء العمل ، وليونة نواتج تآكلها بالاحتكاك، وكذلك عدم وجود تآلف بينها وبين الاسطح المعدنية المتوافقة معها. والخاصية الاخيرة تستبعد ظهور قوى الاستحواذ الجزيئى وخطر العض .

وحيث ان التوصيل الحرارى للخشب منخفض، فان استعماله فى محامل الانزلاق يتطلب التزييت بتيار مائى يقوم فى نفس الوقت بتبريد المحمل . والتزييت المائى يعتبر شرطا لاستعمال المطاط فى كراسى المحاور.

ولتجنب تآكل العمود بالصدأ ، يزود العمود بطلاء او كسوة من الصلب المضاد للصدأ .

ومن بين اللدائن حازت على الانتشار الواسع، اللدائن الخشبية المكونة من طبقات، والتكستوليت، وكذلك اللدائن المصنوعة باساس من الراتنجات البولىاميديـــة كالنايلون والكابرون وغيرهما .

واللدائن لها معامل منخفض للاحتكاك ، ومقاومتها للتأكل اعلى ٥ - ٦ مراتٌ من البرونز مثلا . ومن عيوبها رداءة توصيلها للحرارة (٣٠٠ - ٥٠٠ مرة اقل من المعادن) . وقد يؤدى هذا الى ارتفاع شديد فى درجة حرارة الاسطح المحتكة والى ان تفقد اللدائن خواصها الميكانيكية.

وافضل مادة لتزييت كراسى المحاور المصنوعة من اللدائن ، هى الماء او المستحلبات. والتزييت بالزيت يجرى بالتغذية تحت ضغط.

وتنتفخ اللدائن عند ملامستها للسوائل ، لذا يجب اخذ استقرارها الحجمى فى الاعتبار، واختيار خلوصات اكبر للقم الاكثر شمكا .

وفى حالة الاحمال الصغيرة، يمكن للقم كراسى المحاور وجلبها المصنوعة من الكبرون والنايلون ، ان تعمل مع شح التزييت وحتى بدون تزييت.

فى الوقت الحالى شاع استعمال اللقم المعدنية المغطاة بطبقة رقيقة من البلاستيك مثل النايلون . ولا يحتاج الامر فى هذه الحالة الى اختيار خلوصات كبيرة، اذ يكون امتصاص السوائل غير كبير اما انتقال الحرارة فيكون مرضيا . وهذه اللقم تتحمل الاحمال الديناميكية بشكل طيب.

ويتراوح سمك الكسوة بين ٠٫٠٨ الى ٠٫٥٠ مم، وتتمتع الكسوة الارق بمقاومة افضل للتآكل بالاحتكاك.

وتنتج اللقم المكسوة بطبقة رقيقة من النايلون بواسطة غمسها وهى ساخنة فى نايلون حبيبى صلب، او برش بالنايلون على سطح اللقم الداخلى.

مواد التزييت. الغرض من التزييت هو تقليل الفاقد فى عملية الاحتكاك، ويجب او التقليل من التآكل بالاحتكاك فى الاسطح المحتكة، والتخلص من الحرارة ونواتج التآكل بالاحتكاك وكذلك حماية الاجزاء من التآكل بالصدأ.

والزيوت السائلة والشحوم تعتبر اكثر انواع مواد التزييت انتشارا.
وأهم مميزات الزيوت التى تحدد استخدامها كزيوت للتزييت هى لزوجته.

وجزيئات الزيت لها شكل مطوط. وهذه الجزيئات بتأثيرها المتبادل مع السطح الصلب تتخذ وضعا متعامدا عليه، اما الجزيئات التى تلى الاولى فى الطبقة فتفقد جزئيا خاصية التعامد هذه، ويتزايد فقدها لها كلما زاد سمك طبقة الزيت الفاصلة.
ومقدرة الزيت على تكوين طبقات سميكة فاصلة على الاسطح الصلبة تسمى زيتية الزيت.

وتعتمد الزيتية لا على خواص الزيت وحدها، بل وعلى مدى مقدرة المعدن المعين فى التأثير المتبادل مع الزيت المعنى.
فمثلا تختلف زيتية الماركات المختلفة للزيوت على سطح الحديد الزهر، وهى تعتمد على كمية وشكل المكونات الجرافيتية فيه.

اما اللزوجة فهى توصف الاحتكاك الداخلى للسوائل، وهى خاصية مقاومة ازاحة طبقة من طبقات السائل بالنسبة للطبقة التالية.

واللزوجة تنقسم الى اللزوجة المطلقة او الديناميكية، واللزوجة الكينماتيكية.

ومعيار قياس اللزوجة الديناميكية قائم على فرضية نيوتن المعبر عنها فى العلاقة :

$$T = \mu S \frac{v}{h} ,$$

حيث T ـ قوة مقاومة الازاحة المتبادلة بين طبقتين متجاورتين من سائل ؛

S ـ مساحة سطح التلامس بين الطبقتين ؛
h ـ المسافة بين الطبقتين ؛
v ـ سرعة الازاحة النسبية بين الطبقتين ؛
μ ـ معامل التناسب (المعامل الديناميكى للزوجة).

واذا فرضنا ان T = واحد كجم، S = واحد متر٢ ، h = متر طولى واحد ، v = متر واحد/ثانية، تكون وحدة اللزوجة الديناميكية فى نظام الوحدات الهندسية (الوحدات الدولية المترية)، هو كجم ثانية/متر٢ $\frac{kgf \cdot sec}{m^2}$.

ووحدة اللزوجة الديناميكية هى عبارة عن قوة مقدارها ١ كجم لازمة لازاحة طبقة من السائل مساحتها ١ متر٢ بسرعة ١ متر/ثانية بالنسبة لمساحة مساوية من طبقة اخرى غير متحركة وموجودة على مسافة ١ متر من الاولى .

وبالنسبة للوحدات الغيزيائية للقياس (نظام الوحدات سم. جرام ثانية) تسمى بواز (وتختصر Pz) ولها وحدات $\frac{dyn \cdot sec}{cm^2}$.

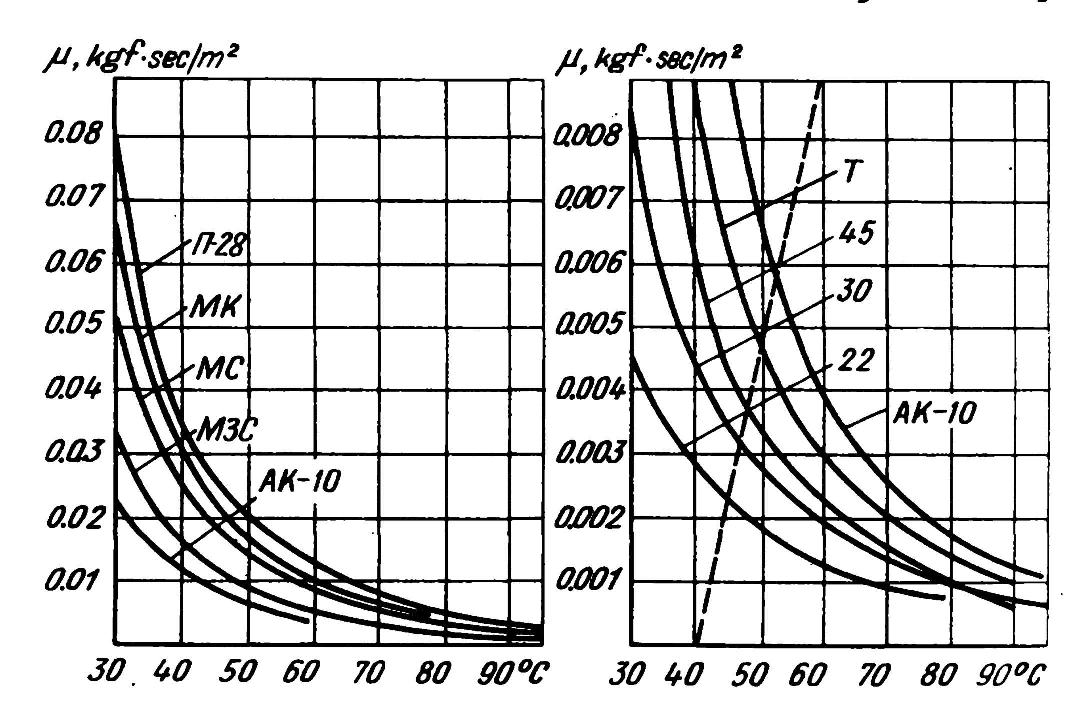
والنسبة بين اللزوجة الديناميكية لسائل وبين كثافته فى نفس درجة الحرارة تسمى اللزوجة الكينماتيكية.

ووحدة اللزوجة الكينماتيكية فى النظام الفيزيائى للقياس هو $\frac{cm^2}{sec}$ وتسمى ستوكس (ويرمز لها بالرمز st) وفى العادة تستخدم وحدة اصغر من الستوكس بمئة مرة وتسمى السنتيستوكس (cst). ولتحويل اللزوجة الكينماتيكية الى لزوجة ديناميكية تستخدم العلاقة

$$\nu_{cst} = \frac{\mu_{\varepsilon p}}{\gamma}, \qquad (25.2)$$

حيث γ - الوزن النوعى للزيت جم/سم٣ او كجم/لتر .

وتعتبر العلاقة بين اللزوجة ودرجة الحرارة (الشكل ٢٥ - ١٥) هى اكثر مواصفات الزيت اهمية .



الشكل ٢٥ - ١٥

والعلاقة بين اللزوجة والضغط لها الشكل التالى :

$$\mu_p = \mu_0 e^{\alpha p},$$

حيث μ_p - لزوجة الزيت عند الضغط الزائد p كجم/سم٢ ؛
μ_0 - لزوجة الزيت عند الضغط الجوى ($p = 0$) ؛
α = (٢ - ٣) ١٠^-٣ للزيوت المعدنية.
ومع زيادة الضغط تزيد اللزوجة.
وزيادة الضغط حتى ٢٠٠ - ٣٠٠ كجم/سم٢ ، عند درجة حرارة التشغيل فى كرسى المحور حوالى ١٠٠° مئوية يمكن ان تؤدى الى زيادة اللزوجة بنسبة ٣٠ - ٣٥ ٪ .
وتستخدم الزيوت المعنية (البترولية) كزيوت للتزييت، والاندر من ذلك تستخدم الزيوت النباتية (زيت بذور الكتان ، والخروع وغيرهما) ، والحيوانية (شحوم العظام وغيرها) .
والجدول ٢٥ - ١ يبين ماركات اهم الزيوت المعدنية المستخدمة فى بناء الماكينات العامة.
والزيوت المعدنية والحيوانية تتمتع بخواص زيتية طيبة. الا ان لزوجة هذه الزيوت صغيرة جدا . وهى ايضا غير مستقرة وسهلة التأكسد ، وعالية السعر.
والاضافات (١-٣٪ حجما) تسمح بتغيير بعض خواص مادة التزييت فى الاتجاه المرجو. فمثلا توجد اضافات تقلل من خطورة العض فى حالة الاحتكاك الحدى، وترفع من لزوجة الزيوت فى حالة درجات الحرارة العالية فى التشغيل ، او تزيد من السيولة فى حالة درجات الحرارة المنخفضة وهكذا . وكل هذه الاضافات تعتبر عناصر عضوية مختلفة متحدة مع بعضها اصطناعيا .
ولاضفاء زيتية مرتفعة على زيت التزييت المعدنى ، يمكن كذلك استخدام الزيوت النباتية او الشحوم الحيوانية كمواد اضافية.
وينتشر استخدام الاضافات على شكل الجرافيت الغروى (الزيوت باضافات جرافيتية) . والجرافيتات بملئه التجاويف الموجودة على سطوح الاحتكاك يسهل عمل الوحدة فى اثناء عملية تليينها .
وتقل فى نفس الوقت فواقد الاحتكاك حيث ان بعض جزيئات الجرافيت لكونها ضعيفة الترابط فيما بينها تنزلق بسهولة.
وتركيب وجودة الاضافات الى الزيوت تنظمها المواصفات المعنية.
وعندما تشكل تغذية الاسطح المحتكة بالزيت صعوبات تصميمية (مثل آليات الصمامات، وقوابض الوصلات العامة وغيرها) ، تملأ وحدات تلك الاسطح بالشحم.
وتعتبر الشحوم خليطا من الزيوت المعدنية مع اضافات مختلفة قليلة الكمية واضافات لتغليظ قوام الزيت، وهى من صابون الصوديوم

الجدول ٢٥ - ١

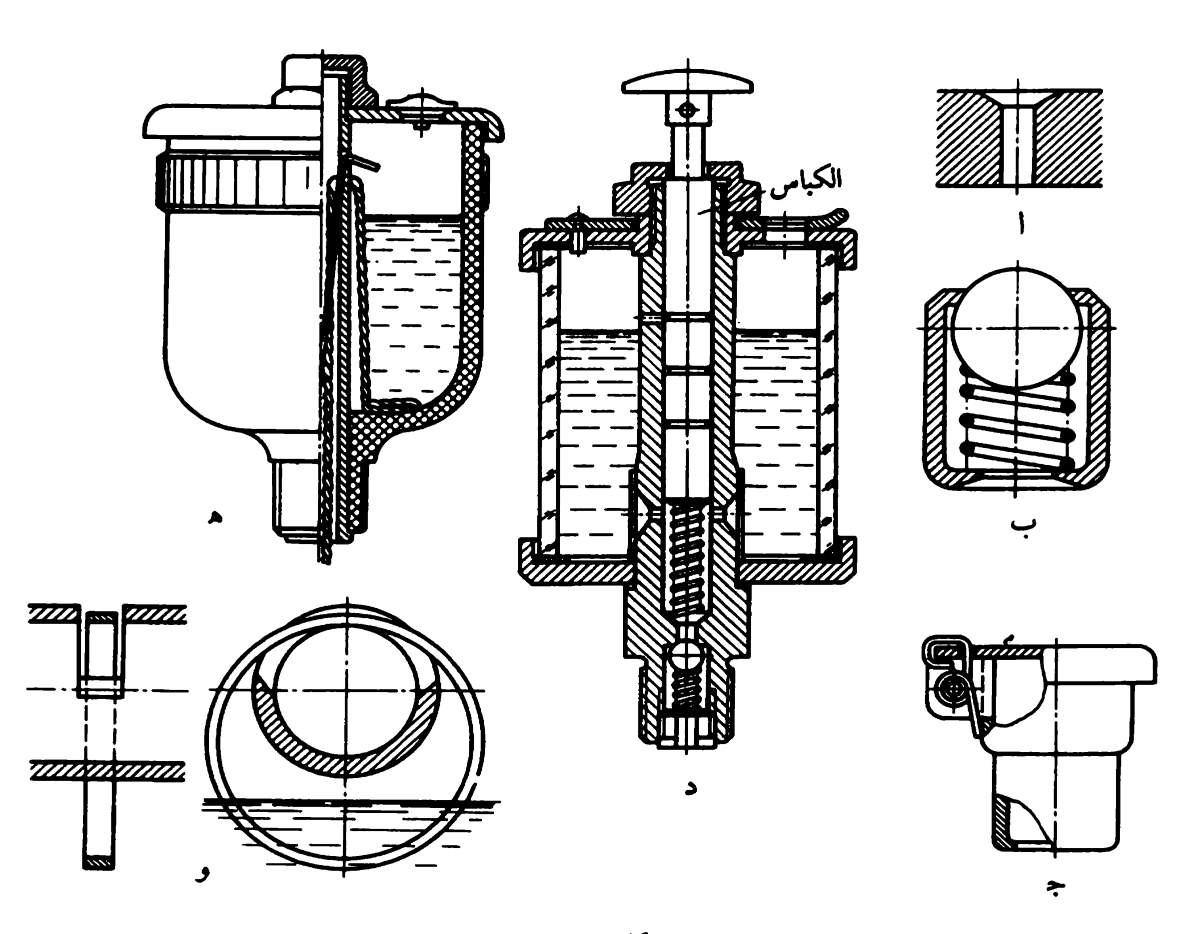
الزيوت المعدنية الاساسية المستخدمة فى بناء الماكينات

اسم الزيت	ماركة الزيت	اللزوجة	
		بالسنتيستوكس	الغرضية $^\circ E$
		عند درجة حرارة ٥٠° مئوية	
صناعية	١٢ (لمرادن الغزل ٢)	١٠ - ١٤	١٫٨٦-٢٫٢٦
	٢٠ (لمرادن الغزل ٣)	١٧ - ٢٣	٢٫٦-٣٫٣١
	٣٠ (للماكينات Л)	٢٧ - ٣٣	٣٫٨١-٤٫٥٩
	٤٥ (للماكينات C)	٣٨ - ٥٢	٥٫٢٤-٧٫٠٧
	٥٠ (للماكينات CУ)	٤٢ - ٥٨	٥٫٧٦-٧٫٨٦
توربينية	٢٢ (Л)	٢٠ - ٢٣	٢٫٩ - ٣٫٣
	٣٠ (УТ)	٢٨ - ٣٢	٣٫٥ - ٤٫٥
	٤٦ (T)	٤٤ - ٤٨	٦٫٠ - ٦٫٥
زيت المحرك	T	٦٢ - ٦٨	٨٫٢ - ٩٫٠
		عند درجة حرارة ١٠٠ مئوية	
للسيارات والجرارات منظفة بحامض الكبريتيك	AK*n*-6 (باضافة ٣+٢٫٠٪ رواسب(AK—10(АЗНИИ — 5	٦	١٫٥
	(افتول ١٠)	١٠	١٫٨٦
	AK-15 (افتول ١٨)	١٥	٢٫٣٧
لماكينات الدلفنة	П-28 (برايتستوك)	٢٦ - ٣٠	٣٫٦٨ - ٤٫٢
للطيران	MC-20	٢٠	٧٫٨٥
	MC-24	٢٤	٨٫٠
	MK-22	٣٢	٨٫٧٥
للسلندرات	١١ (للسلندرات ٢)	٩ - ١٣	١٫٧٦ -٢٫١٥
	٣٨ (للسلندرات ٦)	٣٢ - ٤٤	٤٫٥-٦٫٠
	٢٤ (فيسكوزين)	٢٠ - ٢٨	٢٫٩٥-٣٫٩٥
	٥٢ (فابور)	٤٤ - ٥٩	٦-٨

(كونستالين) او الكالسيوم (سوليد ول) . والمواصفة الاساسية للشحوم، الاختراق، والتى تعين بعمق اختراق مخروط عيارى فى الشحم خلال ٥ ثوان عند درجة حرارة معينة.

وعلاوة على الزيوت السائلة والشحوم يمكن ان يستخدم كمادة للتزييت، الماء (مثلا فى كراسى محاور الاعمدة ومضخات المياه)، والهواء الذى يكون عند السرعات العالية للدوران طبقة بينية، تخلق مع توفر ظروف معينة ضغطا داخليا حسب الصيغة (25.1) .

وفى حالات الضغوط النوعية العالية والعالية جدا فى المحمل، تستخدم زيوت التزييت النشطة كيميائيا، تكون فيها الاضافات مواد كبريتية، او كلورية (achromatic colour او رابع اكسيد الكربون الكلورورى، او غيرهما) . وهذه المواد بتفاعلها مع الاسطح المعدنية، تكون طبقة عازلة رقيقة تضمن معامل احتكاك صغير لا يطرد بالضغط من الخلوص حتى تحت الضغوط العالية.



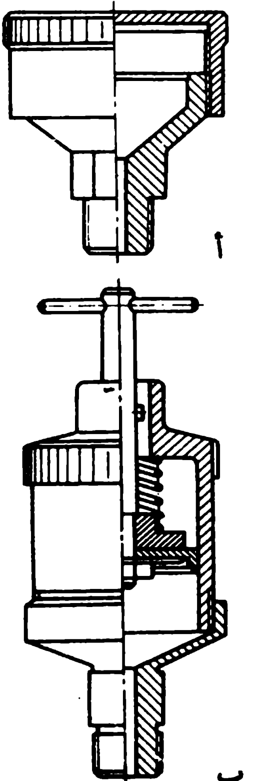
الشكل ٢٥ - ١٦

ا<u>جهزة التزييت</u>. يمكن ان تكون هذه الاجهزة اما فردية او مركزية وتخصص الاولى لتزييت كل زوج من السطوح المحتكة على حدة، اما الثانية فتضمن تغذية عدة ازواج منها بالزيت من جهاز واحد .

والشكل ٢٥ - ١٦ يبين التصاميم الاوسع انتشارا لاجهزة التزييت الفردى بالزيوت. وابسطة هذه الاجهزة تعتبر الفتحات المخوشة (الشكل ٢٥ - ١٦، أ) وتغذى بالزيت بمساعدة مزيتة ذات غشاء .

ولحماية الوحدة (الوصلة) من دخول الاوساخ اليها تستخدم مزايت ذات كريات (الشكل ٢٥-١٦، ب) او ذات اغطية (الشكل ٢٥-١٦، ج)، والاخيرة تحتفظ باحتياطى معين من زيت التزييت. والمزيتة المبينة فى الشكل ٢٥-١٦،د، تعتبر تركيبة افضل اذ تضمن احتياطيات من زيت التزييت. وتتم التغذية بالزيت بواسطة الضغط على كباس. والناقوس الزجاجى يسمح بمراقبة مستوى الزيت فيها.

وكل هذه الاجهزة تقوم بوظيفة التزييت الدورى فقط. اما التغذية بزيت التزييت باستمرار فيمكن توفيرها بابسط ما يمكن بمساعدة الفتائل او حلقات التزييت. وتزييت بالفتيل قائم على مبدأ السيفون الذى يتحقق بالقنيات الشعرية فى شعيرات الفتيل (الشكل ٢٥-١٦، هـ).



الشكل ٢٥-١٧

وحصل التزييت بحلقات التزييت على انتشار واسع. فالحلقة المعدنية، التى يكون قطرها اكبر من قطر العمود، ترسو حرة على مرتكز الاخيرة. وتجرجر الحلقة بدوران العمود، واثناء هذا تمر الحلقة عبر حمام زيتى. وينتقل الزيت من سطح الحلقة الى سطح المرتكز وينتشر على طوله. والشكل ٢٥-١٦، و يبين تخطيطيا لطريقة التزييت بالحلقة.

والتزييت المركزى يمكن ان يتم اما بالدفع الذاتى للزيت من خزان، يركب فى مكان عال بشكل كاف، واما بمساعدة طلمبة، وهذه الطريقة تستخدم بالشكل الرئيسى لخدمة وسائل نقل الحركة المغلقة التى تتيح الفرصة امام احداث دورة الزيت فى منظومة التزييت.

وبالنسبة للتزييت المنفردة بالشحوم (الزيوت الكثيفة)، حصلت المزيتة الناقوسية وفق المواصفات القياسية (مدفع التشحيم، شحمة اللولب - الشكل ٢٥ - ١٧، أ)، حصلت على اوسع انتشار. فيملأ خزانها بالشحم، وعندما تظهر الحاجة للتشحيم يدار غطاؤها للتغذية بالشحم. وطريقة التغذية بالشحم بواسطة مشحمة ذات كباس يضغط على الشحم باستمرار (الشكل ٢٥ - ١٧، ب) هى طريقة اكثر تعويلا عليها.

ويمكن تحقيق التزييت المركزى بالشحم فقط تحت ضغط بواسطة طلمبة مكبسية.

حساب كراسى المحاور

تقييد اجهادات التماس. تحسب كراسى محاور الاعمدة المتأرجحة، والدوارة بسرعات صغيرة فى ماكينات الرفع والنقل، والماكينات الزراعية وغيرها من الماكينات التى لا تتعدى سرعة مرتكز العمود المحيطية فيها ١ر. متر فى الثانية، والتى تكون كمية الحرارة المتولدة عنها غير كبيرة، تحسب من شرط تقييد الاجهادات السطحية.

واذا ما عوض فى القانون (2.30) بقيمة التقوس

$$\frac{1}{\rho}=\frac{2(D-d)}{Dd}\approx\frac{2\Delta}{d^2},$$

(حيث Δ - هو الخلوص القطرى) ، فاننا بعد اجراء الاختصارات نحصل على

$$\Psi_{max} = 2.88\,\frac{[\sigma]^2_{sur}}{\rho E}. \qquad (25\ 3)$$

وهنا $\psi=\frac{\Delta}{d}$ - الخلوص النسبى

$[\sigma]_{sur}$ = (٣ ÷ ٥) Bhn كجم/سم٢ ، وهو اجهاد التماس المسموح به، ويختار لمادة اللقمة (بوصفها الالين، تبعا لصلادتها ، (للبابيت Bhn 30 Б83 وللبرونز Bhn 60 – OЦC 5–5–5) ؛

$p=\frac{R}{ld}$ - الحمل النوعى الافتراضى على كرسى المحور بالكجم/سم٢ ، وهنا R - الحمل القطرى، l ، d طول كرسى المحور وقطر العمود على التوالى ؛

E - معامل المرونة الطولى المكافىء لمادتى كرسى المحور والعمود بالكجم / سم ٢ .

وحيث ان قطرى المرتكز واللقمة لا يختلفان كثيرا عن بعضهما ، فان الصيغة (25.3) تعطى نتيجة تقريبية فقط. وتحتوى المراجع التخصصية على حل اكثر دقة.

تلافى العض. تخضع لهذا الحساب كراسى المحاور العاملة فى ظروف الاحتكاك الحدى عندما تكون السرعة v > ١ر. متر/الثانية.

والحمل الاقصى يتحدد بدرجة حرارة الكرسى التى تعتمد على النسبة بين كمية الحرارة المتولدة فى الكرسى والكمية الخارجية منه.

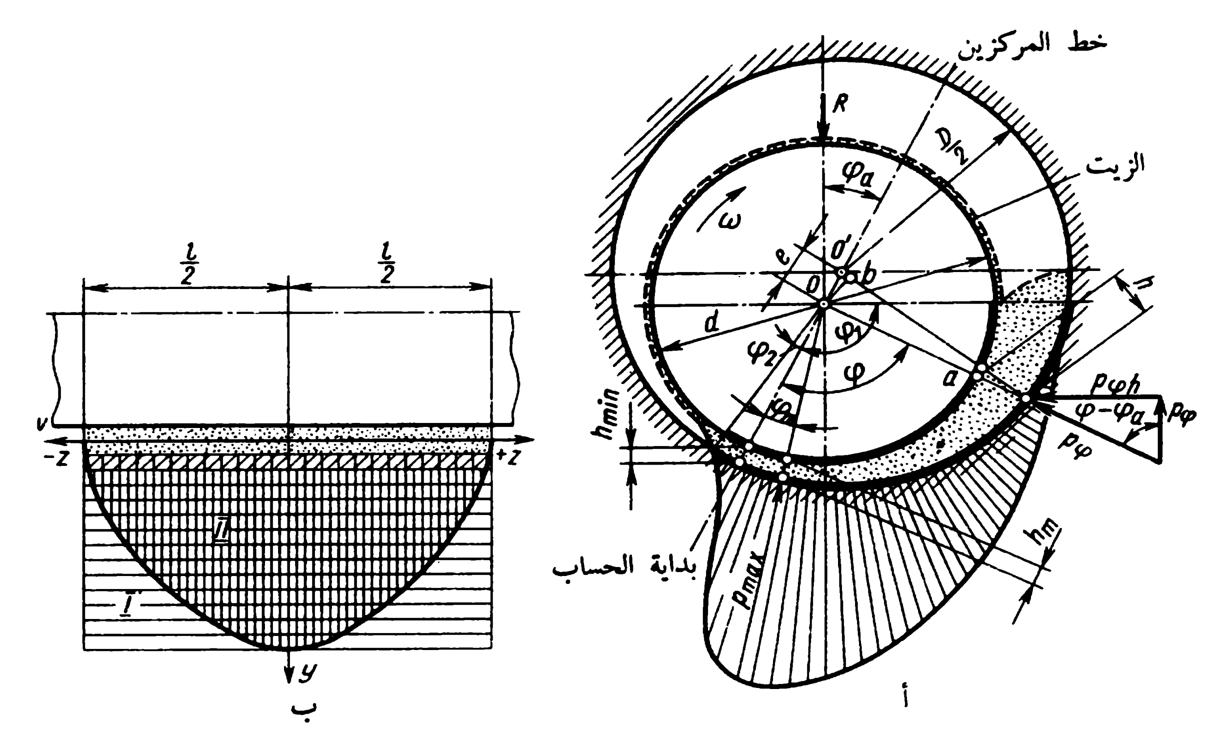
وينفذ الحساب فى هذه الحالة كحساب للمراجعة حسب معيارين

$$p=\frac{R}{ld}\leqslant[p] \qquad (25.4)$$

$$pv = \frac{R}{ld} \cdot \frac{\pi dn}{60 \times 100} = \frac{Rn}{1910\ l} \leqslant [pv] \qquad (25.5)$$

حيث R بالكجم، n ـ عدد لفات المرتكز فى الدقيقة، l ، d بالسم.
وتبعا للمواد المصنوعة منها كراسى المحاور ومجال استخدامها تؤخذ القيم الحدية $[p] = 40 \div 250\ kgf/cm^2$ ، $[pv] = 60 \div 300\ \frac{kgf \cdot m}{cm^2 \cdot sec}$ (انظر التفاصيل فى المراجع المتخصصة) .

ضمان نظام الاحتكاك بالسائل. تتكون طبقة الزيت الاسفينية فى كرسى المحور نتيجة لوجود الخلوص. وبسبب هذا الخلوص يكون وضع مرتكز العمود فى كرسى المحور وضعا لا مركزيا (الشكل ٢٥-١٨، أ).



الشكل ٢٥ - ١٨

وبدوران المرتكز يجر وراءه طبقات من الزيت متحدة المركز: واول طبقة فيها تجاور سطح المرتكز تسحب بسبب خاصية زيتية الزيت، اما الطبقات التالية فبسبب لزوجته. وبناء على ذلك تحدث دورة زيتية دائمة حول المرتكز.

ويعمل المرتكز كما لو كان مضخة تضخ الزيت فى الخلوص الذى يضيق تدريجيا مع اتجاه الدوران، وينتج من هذا ان تتكون فى الاسفين الزيتى ضغوط عالية.

ومع ارتفاع الضغط فى طبقة الزيت، يحدث اولا ان يرتفع المرتكز موسعا بذلك المقاطع الانتقالية للخلوص، وثانيا تزيد سرعة سريان الزيت . وينتج عن ذلك ان تحدث حالة اتزان، تتصف بتوزيع للضغط فى طبقة الزيت بحيث يكون حجم الزيت الخارج من كل الاتجاهات مساويا لحجم الزيت الذى يجلبه العمود فى وحدة الزمن الى الخلوص الاخذ فى الضيق .

وينطبق اتجاه القوى الايدروديناميكية P_φ المؤثرة على المرتكز على الخط العمودى على سطح العمود ، اى على قطره. واذا ما حللنا هذه القوى الى مركبات افقية واخرى رأسية، فان القوى الافقية وحدها $P_{\varphi v}$ يمكنها ان تتوازن مع الحمل R .

اما القوى الافقية $P_{\varphi h}$ فتؤدى الى انحراف العمود فى كرسى محوره مما ينتج عنه ان يصبح الخط المار بمركزى العمود وكرسى المحور (خط المركزين) ، مائلا على خط عمل الحمل الخارجى R بالزاوية φ_a .

واختلافا عن منحنى توزيع القوى الهيدروديناميكية الخاص بالسطحين المستويين (الشكل ٢٥ - ١ ، ح) ، فان منحنى توزيع القوى بين سطحى العمود واللقمة يجب ان يعكس الشكل الاسطوانى لهذين الجزئين .

ومقدرة حمل كرسى المحور فى حالة الاحتكاك السائل تحسب مع التجاوزات التالية فى نظرية التزييت الهيدروديناميكى :

١ - فى منطقة ظهور القوى الهيدروديناميكية يكون انسياب الزيت انسيابا طبقيا ؛

٢ - يلتصق الزيت بسطحى العمود واللقمة بدرجة تكون معها سرعة جزيئات الطبقات الخارجية من الزيت تساوى صفرا بالنسبة للاسطح المعنية ؛

٣ - يهمل تأثير قوى الجاذبية لطبقة الزيت، وقوى القصور الذاتى لجزيئاتها ، والقوى الشعرية المتكونة فى الخلوص ؛

٤ - لا ينضغط الزيت تحت تأثير الحمل الخارجى .

وعلى اساس الشكل ٢٥ - ١٨ ، أ ، نأخذ بالرموز التالية :

$\delta = \frac{\Delta}{2} = \frac{D}{2} - \frac{d}{2} = \frac{D}{2} - r$ - الخلوص القطرى ؛

$\psi = \frac{\Delta}{d} = \frac{2\delta}{d}$ - الخلوص النسبى ؛

h_{min} - ارتفاع مقطع الخلوص فى موضع اكبر تقارب بين العمود واللقمة (جلبة) ؛

$e = \delta - h_{min} = \frac{\Delta}{2} - h_{min}$ - المسافة المطلقة بين المركزين ؛

$\lambda = \frac{e}{\delta} = \frac{2e}{\Delta}$ - المسافة النسبية بين المركزين ،

علما بانه اذا عوضنا عن قيمتى e ، Δ ، نحصل بعد الاختصارات البسيطة على

$$\chi = 1 - \frac{2h_{min}}{d\psi} \qquad (25.6)$$

ولنحصل على الجهد p_φ الذى يظهر فى مقطع طبقة الزيت ، الواقع بزاوية φ بالنسبة لخط المركزين .

فحيث ان المسافة بين المركزين e هى مسافة صغيرة فيمكن

اعتبار ان الزاوية φ عند مركز العمود O ، تساوى الزاوية المناظرة عند مركز الجلبة O' :

$$\frac{D}{2} = O'b + Oa + h \approx e \cos \varphi + r + h$$

ومع اجراء عمليات الاختصار والتحويل نحصل على

$$h = \psi \frac{D}{2} (1 - \chi \cos \varphi) \approx \psi r (1 - \chi \cos \varphi)$$

حيث r - نصف قطر العمود .

وارتفاع المقطع الذى فيه الجهد الهيدروديناميكى p_φ يساوى p_{max} ، عندما $h = h_m$ ، $\varphi = \varphi_m$ سيكون $h_m = \psi_r(1 - \chi \cos \varphi_m)$ وبالتعويض عن قيم h ، h_m فى المعادلة (25.1) ، وبالاخذ فى الاعتبار لان $dx = rd\varphi$ ، نحصل على

$$dp_\varphi = 6\mu \frac{v}{\psi^2} \frac{(1 - \chi \cos \varphi) - (1 - \chi \cos \varphi_m)}{(1 - \chi \cos \varphi)^3} d\varphi \tag{25.7}$$

ومنطقة الخلوص التى توجد فيها قوى هيدروديناميكية ، تنتهى بالمقطع الواقع بزاوية φ_2 بالنسبة لخط بدء القياس. ووراء هذا المقطع يمر تيار الزيت عبر القسم الواسع من الخلوص ويبدأ فى السريان فى نافورات متفرقة.

واذا ما تكاملنا المعادلة (25.7) فى حدود من φ_2 الى φ وباعتبار ان $\mu = \text{const}$ ، $v = \text{const}$ ، نحصل على معادلة لتعيين الجهد فى اية نقطة من نقط مرتكز العمود

$$p_\varphi = \frac{6\mu v}{\psi^2} \int_{\varphi_2}^{\varphi} \frac{(1 - \chi \cos \varphi) - (1 - \chi \cos \varphi_m)}{(1 - \chi \cos \varphi)^3} d\varphi \tag{25.8}$$

المركبة الرأسية

$$p_{\varphi v} = p_\varphi \cos(\varphi - \varphi_a) \tag{25.9}$$

ومحصلة كل المركبات الافقية فى حدود وجود القوى الهيدروديناميكية من φ_2 الى φ_1 ، نحصل من ايجادها على القوة الموجودة عند المقطع المتوسط من اسفين الزيت :

$$p_v = \int_{\varphi_2}^{\varphi_1} p_{\varphi v} d\varphi = \int_{\varphi_2}^{\varphi_1} p_\varphi \cos(\varphi - \varphi_a) d\varphi =$$

$$= \frac{6\mu v}{\psi^2} \int_{\varphi_2}^{\varphi_1} \int_{\varphi_2}^{\varphi} \frac{(1 - \chi \cos \varphi) - (1 - \chi \cos \varphi_m)}{(1 - \chi \cos \varphi)^3} d\varphi \times$$

$$\times [\cos (\varphi - \varphi_a)] \, d\varphi \tag{25.10}$$

وللحصول على القوة المحصلة التى ترفع مرتكز العمود كان يجب ضرب الجهد p_v فى الطول l (طول كرسى المحور). وفى هذه الحالة كان يمكن ان يصبح شكل منحنى التوزيع كما هو موضح فى الشكل ٢٥ - ١٨، ب تحت الرمز I .

وفى كرسى المحور الحقيقى يمكن للزيت ان يتسرب من الاطراف، وهذا يعنى أن القوى الهيد رود يناميكية تساوى صفرا فى هذه الاماكن. وتوزيع الجهود وفق ما هو مبين فى منحنى التوزيع I يصبح ممكنا فقط بالنسبة للمرتكزات ذات الطول اللانهائى او المحكمة من اطرافها.

ولقد اثبت تجريبيا ان الجهود فى الطبقة الهيد رود يناميكية فى حدود طول كرسى المحور الحقيقى تتوزع حسب قانون القطع المكافىء II ، ومعادلة :

$$p_v' = p_v C \left[1 - \left(\frac{2z}{l}\right)^2\right], \tag{25.11}$$

حيث z - الاحداثى حسب طول الجلبة ؛

l - طول الجلبة (اللقمة) ؛

C - معامل يبين كيف يتغير الجهد p_v ، المحسوب لمنحنى التوزيع الخاص بالطول اللانهائى، عند الانتقال الى كراسى المحور الحقيقية. ويوصلنا التعيين النظرى للمعامل C الى المعادلة :

$$C = \frac{5}{4} \frac{1}{\left[1 + a\left(\frac{d}{l}\right)^2\right]} \tag{25.12}$$

وهنا a - متغير يعتمد على المسافة النسبية بين المحورين χ . وفى النهاية فمع اخذ طول الجلبة (اللقمة) فى الاعتبار، فان مقدرة الحمل فى الاسفين الزيتى :

$$P = \int_{-\frac{l}{2}}^{+\frac{l}{2}} p_v dz \tag{25.13}$$

واذا ما عوضنا فى المعادلة (25.11) عن قيمة p_v من المعادلة (25.10) و p_v' فى الصيغة (25.13)، نحصل بعد اجراء التكامل على

$$P = \frac{\mu v l}{\psi^2} \Phi, \tag{25.14}$$

حيث

$$\Phi = 6 \int_{-\frac{l}{2}}^{+\frac{l}{2}} \int_{\varphi_2}^{\varphi_1} \int_{\varphi_2}^{\varphi} \frac{(1 - \chi \cos \varphi) - (1 - \chi \cos \varphi_m)}{(1 - \chi \cos \varphi)^3} d\varphi [\cos(\varphi - \varphi_a)] d\varphi C \left[1 - \left(\frac{2z}{l}\right)^2\right] dz$$

ومن المعادلة (25.14) نحصل على معادلة معيار التحميل

$$\Phi = \frac{\psi^2 P}{\mu\, vl} = 19.11\, \frac{p\psi^2}{\mu\, n} \qquad (25.15)$$

حيث p - الحمل على وحدة المسقط القطرى لمرتكز العمود ؛
n - عدد لفات العمود فى الدقيقة .

وحساب قيمة التكامل Φ فى حالته العامة يعتبر مهمة صعبة للغاية.

واذا ما ادخلنا شرطا اضافيا هو ان الجهد الايدروديناميكى يقع فى حدود قوس لزاوية مقدارها ١٨٠° من الخلوص العام بين العمود والجلبة (اللقمة)، لامكننا الحصول على معادلة $\Phi = f(\chi)$ لاية قيمة للنسبة $\frac{l}{d}$.

وللقيم الاكثر استعمالا لـ χ (من ٠٫٣٣٣ الى ٠٫٩٥) يقترح كودنير المعادلة التالية :

$$\Phi = \frac{P\psi^2}{\mu\, vl} = 19.11\, \frac{p\psi^2}{\mu\, n} = \frac{1.02}{\frac{h_{min}}{d\psi}\left[1 + 4.62\left(\frac{d}{l}\right)^2\left(0.026 + \frac{h_{min}}{d\psi}\right)\right]}, \qquad (25.16)$$

حيث P - الجهد المحصل (مقدرة كرسى المحور على الحمل) المتكون فى طبقة الزيت بالكجم ؛
ψ - الخلوص النسبى ؛
μ - اللزوجة الديناميكية للزيت بالكجم ٠ ثانية/ متر٢ ؛
v - سرعة دوران العمود متر/ثانية ؛
p - الحمل المسلط على وحدة المسقط القطرى لكرسى المحور كجم/ متر٢ ؛
h_{min} - الارتفاع الادنى فى طبقة الزيت فى الخلوص بالمتر .

وقيم Φ واردة فى الجدول ٢٥ - ٢ بالنسبة لقيم $\frac{l}{d}$ ، $\chi = 1 - \frac{2h_{min}}{d\psi}$.

ومن المعادلة (25.16) نجد انه كلما كانت قيمة h_{min} اقل ، كانت القوة P اكبر، وهى القوة التى تنجم فى طبقة الزيت.

والمقدار h_{min} يجب ان يكون بشكل لا يؤدى عنده - عدم الانتظام المتبقى بعد التشغيل الميكانيكى لسطحى العمود والجلبة الى تمزيق الطبقة الرقيقة من الزيت. ودرجة نظافة سطح مرتكز العمود تعتمد على نوع عملية التشطيب: فللخراطة الدقيقة ٧ - ٨ ، وللصقل ٩ - ١٣ . والسطح العامل فى الجلبة تصبح له نظافة سطح بعد اجراء عمليات السحب، والتجليخ والكشط توازى الدرجتين السادسة والسابعة، اما فى حالة الخراطة الدقيقة فتكون ٧ - ٨ .

ومع اعتبار عدم الدقة الممكن فى شكل الجزء وعدم كفاية جساءة الوحدة، يجب اختيار h_{min} بزيادة بحيث :

$$h_{min} = k(R_{z_1} + R_{z_2} + y_{pin}), \qquad (25.17)$$

حيث $k \leqslant$ ٢ر١ : ٥ر١ - معامل للامان يحدد معامل حمولة كرسى المحور ؛

R_{z_2}, R_{z_1} - متوسطا ارتفاع عدم الانتظامات على سطحى المرتكز والجلبة ؛

$y_{pin} = 1.6 \frac{l}{L} y_{sh}$ - انحناء مرتكز العمود فى الكرسى ؛

وهنا L - المسافة بين منتصفى المحملين ؛

y_{sh} - الانحناء الاقصى فى العمود .

وتكون القيمة y_{pin} بالنسبة لكراسى المحاور التى تضبط وضعها ذاتيا بحيث $y_{pin} = 0$.

والحد الاقصى للمعامل k يمكن ان يصل الى ١٠ ، الا انه مع زيادة k يزيد سمك طبقة الزيت وتزيد مقاومة الدوران. وعلاوة على ذلك ينشأ فى حالة القيم الكبيرة لـ k خطر وقوع الذبذبات غير المرغوب فيها فى العمود داخل طبقة التزييت.

والخلوص النسبى ψ يتراوح بين ٠٠٣ر٠ و ٠٠٥ر٠ . وتعود القيم الاكبر ψ الى كراسى المحاور ذات عدد اللفات الاكبر ، والضغط الاقل والنسب $\frac{l}{d}$ الاكبر ، والجلب الاكبر صلادة.

وبالنسبة لكراسى المحاور المصنوعة من لدائن البلاستيك $\psi = 0.004 \div 0.007$ اذا كان كرسى المحور قطعة واحدة، وكان انتفاخ الجلبة لا يعيقه الجسم، $\psi = 0.001 \div 0.002$ بالنسبة للجلب المجمعة .

ويجب اختيار قيم لزوجة الزيت μ عند درجة الحرارة المتوسطة لطبقة الزيت العاملة فى كرسى المحور.

وبالنسبة لمحامل محركات الجرارات والسيارات وماكينات تشغيل المعادن يمكن اخذ $t_m = 70 \div 90$ °C ، وبالنسبة لمحامل مخفضات السرعة القائمة بذاتها وذات التروس، وكذلك ماكينات الدلفنة تؤخذ $t_m = 50 \div 60$ °C .

ويحدد متوسط درجة حرارة كرسى المحور من حساب التبادل الحرارى.

وعند استقرار نظام التشغيل تكون كمية الحرارة W ، المولدة من الاحتكاك فى طبقات زيت التزييت فى خلوصها مساوية لكمية الحرارة الخارجة من كرسى المحور

$$W = W_1 + W_2 \qquad (25.18)$$

حيث W_1 - كمية الحرارة المخرجة من كرسى المحور بواسطة الزيت الخارج منه ؛

الجدول ٢٥ - ٢

معيار التحميل $\Phi = \frac{19.11\, p\psi^2}{\mu n}$

	قيم Φ بالنسبة الى X													
	٠ر٣٣	٠ر٤	٠ر٥	٠ر٦	٠ر٦٥	٠ر٧	٠ر٧٥	٠ر٨	٠ر٨٣	٠ر٩	٠ر٩٢٥	٠ر٩٥	٠ر٩٧٥	٠ر٩٩
١ر٥	١ر٣٧	١ر٧٦	٢ر٤٧	٣ر٥٠	٤ر١٦	٥ر١٠	٦ر٤٢	٨ر٣٢	١٠ر٣	١٧ر٩	٢٣ر٨	٣٧ر٣	٧٦ر٧	١٩٦ر٤
١ر٣	١ر٢	١ر٥٥	٢ر٢٠	٣ر١٧	٣ر٨٠	٤ر٦٨	٥ر٩٦	٧ر٧٩	٩ر٦٨	١٧ر٢	٢٢ر٩	٣٦ر٢	٧٥ر٢	١٩٣ر٩
١ر٢	١ر١١	١ر٤٣	٢ر٠٥	٢ر٩٧	٣ر٥٨	٤ر٤٤	٥ر٦٨	٧ر٤٧	٩ر٣٠	١٦ر٦٦	٢٢ر٣٤	٣٥ر٤	٧٤ر١	١٩٢ر٠
١ر١	١ر٠٠	١ر٣٠	١ر٨٩	٢ر٧٥	٣ر٣٣	٤ر١٥	٥ر٣٤	٧ر٠٨	٨ر٨٦	١٦ر٠٠	٢١ر٦	٣٤ر٤	٨٢ر٧	١٩٠ر٠
١ر٠	٠ر٨٩٦	١ر١٧	١ر٧٠	٢ر٥١	٣ر٠٥	٣ر٨٣	٤ر٩٦	٦ر٦١	٨ر٣٥	١٥ر٣١	٢٠ر٧	٣٣ر٤	٧١ر١	١٨٧ر٠
٠ر٩	٠ر٧٨١	١ر٠٣	١ر٥١	٢ر٢٤	٢ر٧٥	٣ر٤٧	٤ر٥٤	٦ر١٠	٧ر٧٥	١٤ر٤٣	١٩ر٧٤	٣٢ر٠	٦٨ر٩٥	١٨٣ر٤
٠ر٨	٠ر٦٦٢	٠ر٨٧٤	١ر٣٠	١ر٩٥	٢ر٤٠	٣ر٠٦	٤ر٠٣	٥ر٤٨	٧ر٠٢	١٣ر٣٥	١٨ر٤٠	٣٠ر٢٠	٦٦ر١٠	١٧٨ر٧
٠ر٧	٠ر٥٤٠	٠ر٧١٦	١ر٠٧	١ر٦٤	٢ر٠٣	٢ر٦١	٣ر٤٧	٤ر٧٨	٦ر١٨	١٢ر٠	١٦ر٨٠	٢٧ر٨٥	٦٦ر٢٠	١٧١ر٨
٠ر٦	٠ر٤٢١	٠ر٥٦٢	٠ر٨٥	١ر٣١	١ر٦٤	٢ر١٣	٢ر٨٧	٣ر٩٨	٥ر٢١	١٠ر٤٢	١٤ر٧٥	٢٤ر٩٥	٥٧ر٣٠	١٦٢ر٥
٠ر٥	٠ر٣١٠	٠ر٤١٦	٠ر٦٣٦	٠ر٩٩	١ر٢٥	١ر٦٤	٢ر٢٢	٣ر١٥	٤ر١٦	٨ر٥٢	١٢ر٣٣	٢١ر٢٨	٥٠ر٦٠	١٤٩ر٠
٠ر٤	٠ر٢٠٨	٠ر٢٨١	٠ر٤٣٣	٠ر٧٠٥	٠ر٨٦٧	١ر١٤	١ر٥٧	٢ر٢٦	٣ر٠٢	٦ر٤٣	٩ر٥٥	١٦ر٧٢	٤١ر٦٥	١٢٩ر٤

W_2 - كمية الحرارة المخرجة عن طريق معدن كرسى المحور بالاشعاع الى الوسط المحيط .

ويمكن حساب القيم W_2 ، W_1 ، W من الصيغ التالية

$$W = \frac{Rvf}{427} \text{ k cal/sec,} \qquad (25.19)$$

حيث R - الحمل المسلط على المحمل كجم ؛
v - السرعة بالمتر/الثانية ؛
f - معامل الاحتكاك .

$$W_1 = c\gamma Q \Delta t,$$

حيث c - السعة الحرارية للزيت بالكيلوكالورى/كجم ؛
γ - الوزن النوعى للزيت كجم/متر^3 ؛
Q - استهلاك الزيت عبر طرفى كرسى المحور بالمتر^3/الثانية ؛
$\Delta t = t_m - t_{in}$ - فرق درجتى حرارة كرسى المحور والزيت عند مدخلة ؛

$$W_2 = \alpha\pi dl \Delta t \text{ kcal/sec} \qquad (25.20)$$

حيث α - معامل انتقال الحرارة بالكيلوكالورى/متر^2 . درجة مئوية.
واعتبارا لان $c\gamma = 405$ لكل انواع الزيوت ، فبعد اعادة ترتيب المعادلة والتعويض عن القيم W ، W_1 ، W_2 فى المعادلة (25.18) نحصل على

$$\Delta t = 6 \times 10^{-6} \frac{\frac{f}{\psi} \cdot p}{\frac{Q}{\psi vld} + \frac{B}{\psi v}} \qquad (25.21)$$

حيث B - معامل يعتمد على نوع كرسى المحور (انظر الجدول ٢٥-٣) ويساوى $B = \frac{\alpha\pi}{405}$.
ويمكن حساب قيم $\frac{f}{\psi}$ و $\frac{Q}{\psi vld}$ حسب المعادلات او ان تؤخذ من الجدول ٢٥ - ٤ :

$$\frac{f}{\psi} = 0.150 + 1.92(1.119 - \chi)\left[1 + 2.31\left(\frac{d}{l}\right)^2 (1.052 - \chi)\right] \qquad (25.22)$$

$$\frac{Q}{\psi vld} = 0.285(0.2035 + \chi) \times \frac{0.072\left(\frac{l}{d}\right)^2 - 1.05 + \chi}{0.433\left(\frac{l}{d}\right)^2 + 1.05 - \chi} . \qquad (25.23)$$

وفى هاتين المعادلتين χ - هى المسافة النسبية بين المركزين وهى تعين من المعادلة (25.6) .
وفى حالة صعوبة تبريد كرسى المحور (نتيجة لارتفاع درجة

حرارة الوسط المحيط، او بسبب التوصيل الردىء للحرارة بالنسبة للجلبة (اللقمة) المصنوعة من مادة غير معدنية)، يمكن اهمال اشعاع الحرارة من كرسى المحور. وفى هذه الحالة تأخذ المعادلة (25.21) الصورة الاكثر بساطة:

$$\Delta t = 6 \times 10^{-6} \frac{\frac{f}{\psi} p}{\frac{Q}{\psi v l d}} \qquad (25.24)$$

وتكون درجة حرارة الزيت الداخل الى كرسى المحور

$$t_{in} = t_m - \Delta t \qquad (25.25)$$

الجدول ٢٥ - ٣

قيم α ، B

$B = \frac{\alpha\pi}{405} 10^4$	α بالكيلوكالورى/ متر · ثانية · درجة مئوية	نوع كرسى المحور
١ر٠	٠١٣ر٠	كراسى المحاور ذات التصاميم الخفيفة فى حالة صعوبة انتقال الحرارة منها، مثلا نتيجة لارتفاع درجة حرارة الوسط المحيط ....
١ر٤	٠١٨ر٠	كراسى المحاور ذات التصاميم الاعتيادية مع الظروف المتوسطة للتشغيل ....
٢ر٥	٠٣٣ر٠	كراسى المحاور ذات التصاميم الثقيلة مع تبريدها بشدة، مثل تبريدها بالماء او بالهواء ......

خطوات حساب كرسى محور الانزلاق. المعطيات الاساسية: R - الحمل الواقع على كرسى المحور، d - قطر مرتكز العمود، l - طول كرسى المحور، n - عدد اللفات فى الدقيقة، t_{in} - درجة حرارة الزيت عند دخوله الكرسى.

١ - تبعا لدرجة نقاوة اسطح التشغيل وانحناء مرتكز العمود فى كرسى المحور تحدد قيمة سمك طبقة الزيت h_{min} فى موضع اضيق فى الخلوص.

٢ - تعين قيمة الخلوص النسبى ψ .

الجدول ٢٥ - ٤

قيم $\frac{Q}{\psi v l d} \cdot \frac{f}{\psi}$

$\frac{l}{d}$	النسبة	٠ر٣٣	٠ر٥٠	٠ر٧٠	٠ر٨٠	٠ر٩٠	٠ر٩٥	٠ر٩٧٥	٠ر٩٩
١ر٥	$\frac{f}{\psi}$	٢ر٨٧	١ر٩٢	١ر٢٤	٠ر٩٧	٠ر٦٧	٠ر٤٨	٠ر٣٥	٠ر٢٢
	$\frac{Q}{\psi v l d}$	٠ر٠٦٩٧	٠ر٠٨٩٦	٠ر١٠٣٨	٠ر١٠٠٩	٠ر٠٨٨٨	٠ر٠٧٧	٠ر٠٦٧	٠ر٠٥٧٦
١ر٣	$\frac{f}{\psi}$	٣ر٢٦	٢ر١٣	١ر٣٣	١ر٠٢	٠ر٧٠٠	٠ر٤٩٠	٠ر٣٥٠	٠ر٢٢
	$\frac{Q}{\psi v l d}$	٠ر٠٧٧٥	٠ر١٠٠٦	٠ر١١٧١	٠ر١١٣٤	٠ر٠٩٨٦	٠ر٠٠٣٩	٠ر٠٧١٨	٠ر٠٦٠٥
١ر٠	$\frac{f}{\psi}$	٤ر٣٤	٢ر٧١	١ر٥٨	١ر١٦	٠ر٧٦٠	٠ر٥٢٠	٠ر٣٦٠	٠ر٢٣٠
	$\frac{Q}{\psi v l d}$	٠ر٠٩١٧	٠ر١٢١٥	٠ر١٤٤	٠ر١٤١٥	٠ر١٢٢	٠ر١٠١٧	٠ر٠٨٤٣	٠ر٠٦٨٦
٠ر٩	$\frac{f}{\psi}$	٤ر٩٦	٣ر٠٤	١ر٧٢	١ر٢٤	٠ر٧٩٠	٠ر٥٤٠	٠ر٣٧٠	٠ر٢٣٠
	$\frac{Q}{\psi v l d}$	٠ر٠٩٦٨	٠ر١٢٩٥	٠ر١٥٦٤	٠ر١٥٣٧	٠ر١٣٣٤	٠ر١١٠٨	٠ر٠٩٠٩	٠ر٠٧٢٩
٠ر٨	$\frac{f}{\psi}$	٤ر٨٣	٣ر٥٠	١ر٩٢	١ر٣٥	٠ر٨٤٠	٠ر٥٦٠	٠ر٣٨٠	٠ر٢٤٠
	$\frac{Q}{\psi v l d}$	٠ر١٠٢٣	٠ر١٣٨٢	٠ر١٦٩٥	٠ر١٦٨٥	٠ر١٤٧	٠ر١٢٢	٠ر٠٩٩٧	٠ر٠٧٨٤
٠ر٧	$\frac{f}{\psi}$	٧ر١٠	٤ر١٨	٢ر٢١	١ر٥٢	٠ر٩١٠	٠ر٦٠٠	٠ر٤٠٠	٠ر٢٤٠
	$\frac{Q}{\psi v l d}$	٠ر١٠٧٨	٠ر١٤٧٤	٠ر١٨٤	٠ر١٨٥٢	٠ر١٦٤	٠ر١٣٦٧	٠ر١١١٥	٠ر٠٨٦٤
٠ر٦	$\frac{f}{\psi}$	٩ر٠٩	٥ر٢٢	٢ر٦٦	١ر٧٨	١ر٠٢	٠ر٦٥٠	٠ر٤٢٠	٠ر٢٦٠
	$\frac{Q}{\psi v l d}$	٠ر١١٣٢	٠ر١٥٦٦	٠ر٩٩٥	٠ر٢٠٤	٠ر١٨٤٢	٠ر١٥٥٢	٠ر١٢٦٧	٠ر٠٩٧٤
٠ر٥	$\frac{f}{\psi}$	١٢ر٣	٦ر٩٤	٣ر٣٩	٢ر٢٠	١ر٢٠	٠ر٧٣٠	٠ر٤٦٠	٠ر٢٧٠
	$\frac{Q}{\psi v l d}$	٠ر١١٨٣	٠ر١٦٥٦	٠ر٢١٥٢	٠ر٢٢٤	٠ر٢٠٨	٠ر١٧٨٥	٠ر١٤٧٣	٠ر١١٣٣
٠ر٤	$\frac{f}{\psi}$	١٨ر٣	١٠ر١	٤ر٤٧	٢ر٩٨	١ر٥٤	٠ر٨٩٠	٠ر٥٣٠	٠ر٠٣٠٠
	$\frac{Q}{\psi v l d}$	٠ر١٢٣	٠ر١٧٤	٠ر٢٣٢	٠ر٢٤٥	٠ر٢٣٥	٠ر٢٠٧	٠ر١٧٥	٠ر١٣٦

٣ - تحسب القيمة χ [المعادلة (25.6)] .

٤ - من الجدول ٢٥ - ٢ ، ٢٥ - ٤ يختار حسب النسبة $\frac{l}{d}$ المعطاة كل من $\frac{Q}{\psi v l d}$ و $\frac{f}{\psi}$ ، $\frac{19.11\, p\psi^2}{\mu n}$

٥ - يحدد البارامتر من المعادلة التالية

$$A_0 = \frac{t_m - t_{in}}{\mu} = 6 \times 10^{-6} \; \frac{\frac{f}{\psi} \cdot \frac{19.11\, p\psi^2}{\mu n}}{\frac{Q}{\psi v l d} + \frac{B}{\psi v}} \cdot \frac{n}{19.11\, \psi^2}$$

٦ - حسب المعادلة $t_m = t_{in} = A_0\mu$ ، التى تتفرع من الصيغة الخاصة ب A_0 يرسم خط مستقيم على منحنى العلاقة بين لزوجة الزيت وبين درجة الحرارة ، علما بان t_{in} ، A_0 يعتبران قيمتين ثابتتين ، اما t_m ، μ فمتغيرتين .

٧ - فى نقطة تقاطع الخط المستقيم مع المنحنى (الشكل ٢٥-١٥) توجد قيمتا درجة الحرارة المتوسطة للزيت t_m واللزوجة الديناميكية μ ، الموجودتان بالنسبة للبارامترات التصميمية المعطاة لكرسى المحور.

٨ - من القيمة $\Phi = \frac{19.11.\, p\psi^2}{\mu n}$ تعين قيمة p . ويعتبر حساب كرسى المحور سهل التنفيذ بالنسبة لبعض قيم ψ ، يرسم منها رسم بيانى للعلاقة بين p ، ψ يوضح معامل الامان فى مقدرة الحمل تبعا لقيمة الخلوص النسبى . ويعمل كرسى المحور بنظام الاحتكاك السائل ، اذا ما كانت $P = pld > R$.

حساب الكعوب

تقييد الضغط النوعي . ان الضغط النوعى على سطح ارتكاز الكعب

$$p = \frac{4A}{\pi(D^2 - d^2)\xi} \leqslant [p], \tag{25.26}$$

حيث A - الحمل الكامل على المحمل ؛

D ، d - القطران الخارجي والداخلى على التوالى فى سطح الارتكاز فى الكعب (الشكل ٢٥ - ١٤ ، أ) ؛

ξ - معامل يأخذ فى الاعتبار عدم اكتمال استخدام سطح للارتكاز (قنوات التزييت) . وفى المعتاد $\xi = 0.9$.

وتبعا لمجال الاستخدام ، والمواد تتراوح القيم الحدية للضغط $[p]$ $[p] = 40 \div 250 \text{kgf/cm}^2$

تلافى العض. (راجع الشكل ٢٥ - ١٤ ، أ) ، نفترض ان

$$D_m = \frac{D + d}{2}, \; d = D - 2s$$

واعتبارا لان $v = \frac{\pi D_m n}{60 \times 100}$ (بالمتر فى الثانية) ، نحصل على الشرط اللازم لتلافى العض :

$$pv = \frac{An}{5400\ s} \leqslant [pv], \qquad (25.27)$$

حيث p بالكجم ، v - السرعة عند القطر المتوسط D_m للكعب بالمتر/ثانية ، A - بالكجم ، n - عدد اللفات فى الدقيقة ، s - عرض القطعة الدائرية بالسم .

وتحوى المراجع المتخصصة على قيم $[pv]$ تبعا للمادة وظروف العمل .

ضمان نظام الاحتكاك السائل . يتلخص الحساب فى تعيين عدد القطع الدائرية z ، الذى يمكن به ضمان هذا النظام :

$$z = 12.6\ \frac{Ah_{min}^2[1 + \left(\frac{B}{s}\right)^2]}{\mu D_m n B^2 s}, \qquad (25.28)$$

حيث h_{min} - الارتفاع الادنى لمقطع الخلوص بالمتر ؛

B - طول القطعة الدائرية عند وتر القطر المتوسط بالمتر ؛

μ - لزوجة الزيت بالكجم ثانية/متر^2 ؛

D_m - القطر المتوسط لسطح الارتكاز بالمتر ؛

n - عدد لفات العمود فى الدقيقة .

وبالنسبة للقطع غير المتحركة يجب بالاضافة الى ذلك تعيين زاوية ميل اسطح القطع الدائرية $\alpha = \frac{h_{min}}{0.7\ B}$.

وقيم h_{min} ، μ تؤخذ بنفس القيم المستعملة فى حساب كراسى المحاور .

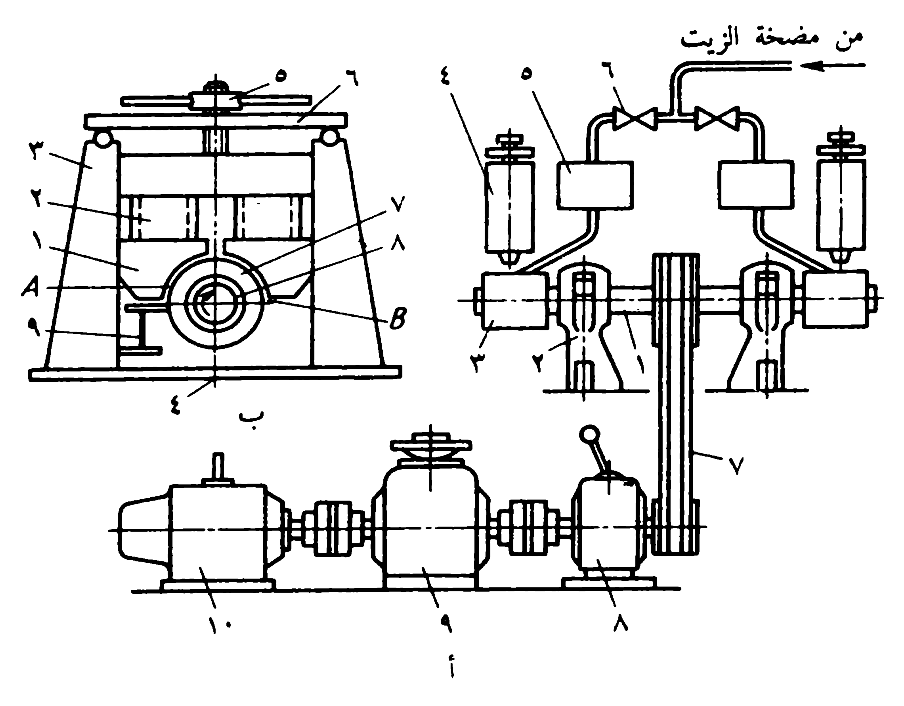
وفى المعتاد فان النسبة $\frac{B}{s}$ تختار فى حدود من ٥ر. الى ١ وعدد القطع الدائرية z الناتج من المعادلة (25.28) ، يجب أن يحقق الشرط الواضح :

$$z < \frac{\pi(D_m - s)}{B}$$

واذا لم يتحقق هذا الشرط، يستحيل وضع القطع الدائرية حول محيط وحدة الارتكاز .

اختبارات كراسى محاور الانزلاق . ان تغير معامل الاحتكاك f ودرجة الحرارة t° تبعا لبارامترات نظام التشغيل فى كرسى المحور وكذلك عمر الخدمة (امد العمل) تبعا لمادتى المرتكز والجلبة (اللقمة) تحدد تجريبيا بواسطة قواعد الاختبار . والشكل ٢٥ - ١٩ ، أ يبين رسما تخطيطيا لقاعدة اختبار كراسى محاور الانزلاق المصنوعة من مواد غير مغناطيسية . ويركب العمود ١ على

محملين ٢ . والكرسى المراد اختباره ٣ يحمل بواسطة تركيبة كهرومغناطيسية ٤ . وفى مبادلات الحرارة الداخلة فى منظومة التزييت ٥ ، يبرد الزيت او يسخن حتى تصل درجة حرارته الى الدرجة المعطاة. وتنظيم تصريف الزيت المضغوط بمضخة يجرى بواسطة الصمام ٦ . ويدار العمود بوسيلة نقل للحركة بواسطة السيور ٧ ذات المقطع V ، ثم صندوق سرعات ٨ ، مغير وعائى للسرعات ٩ . اما قدرة محرك الادارة ١٠ فتعتمد على



الشكل ٢٥ - ١٩

بارامترات النظام (الحمل والسرعة) فى المحامل المراد اختبارها . ويمكن اختبار كرسى محور فى وقت واحد .

والتركيبة الكهرومغناطيسية (الشكل ٢٥ - ١٩ ، ب) تقوم بوظيفة التحميل بدون التلامس بالنسبة للكرسيين المراد اختبارهما . وهى تتكون من رأسين مغناطيسيتين ١ وملفين ٢ مركبين فى عمودين موجهين ومصنوعين من مادة غير مغناطيسية ٣ ومركبين تركيبا جاسئا فى القاعدة ٤ . وبمساعدة زوج من اللوالب وصامولة ٥ تعلق التركيبة على عتبة ٦ ، مرتكزة على العمودين الموجهين . والطوق ٧ المصنوع من مادة حديدية مغناطيسية بما فيه كرسى المحور المراد اختباره ٨ ، يكون منفصلا عن قطبى المنظومة الكهرومغناطيسية بخلوص نصف حلقى . وعند تمرير تيار مستمر فى الملفين الممغنطين ، يتكون فى المنظومة مجال مغناطيسى ينتقل عبر الخلوص العامل A بين قطب المجموعة وبين الطوق الحديدى المغناطيسى لكرسى المحور موضع الاختبار ، وبعدها ، عبر الطوق ، ثم عبر الخلوص العامل B ثم يصل الى القطب الثانى للمجموعة .

وينظم الخلوص العامل بزوج من اللولب ـ الصامولة ، يحــــرك كل المجموعة على طول العمودين .

وتسعى القوى الكهرومغناطيسية لجذب الطوق مع كرسيى المحور الى قطبى المنظومة ، ضاغطة بذلك على كرسى المحور موضــــع الاختبار الى العمود ومقدار وطابع قوى الحمل ينظمان بتغيير شدة التيار . والحمل على كرسى المحور وعزم قوى الاحتـــكاك ينظمان باجهزة القياس الكهربى . اذ يتم تركيب جهاز احساس كهربائى سلكى على كل من العتبة ٦ والذراع الشاد ٩ .

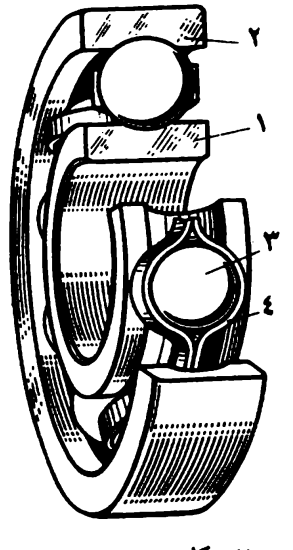
الباب السادس والعشرون

كراسى محاور التدحرج

معلومات عامة

ان كراسى محاور التدحرج هى المحامل التى تستخدم فيها عناصر التدحرج (الكريات، والاسطوانات) ، والتى تعمل على اساس احتكاك التدحرج .

وكرسى محور التدحرج (الشكل ٢٦ - ١) يتكون من حلقة داخلية ١ ، واخرى خارجية ٢ ، واجسام التدحرج (سواء كريات أو اسطوانات) ٣ وفاصل (قفص) ٤ يفصل بين اجسام التدحرج ويوجهها .



الشكل ٢٦ - ١

وحلقات كراسى المحاور واجسام التدحرج تصنع من الصلب الكرومى Ш × 15 ، ШХ6, ШХ9 ، والصلب الكرومى - النيكلى 12ХН3А, 12Х2Н4А وغيرها . وتعالج الاجزاء المصنوعة حراريا حتى الصلادة *Rc* (62–65) ، ثم تجلخ وتصقل بعناية. اما الفواصل (الاقفاص) فتصنع من صلب الالواح (الفواصل المصنوعة بالكبس) ومن البرونز (АЖМц 10-3-1.5) ، ومن سبائك الالومينيوم (الفواصل المسبوكة) او من التيكستوليت .

وكراسى محاور التدحرج موصفة قياسيا ، وتصنع بطريقة الانتاج المركزى بالجملة. وهى تعتبر الانواع الاساسية للمحامل فى الماكينات.

ومصانع كراسى المحاور فى الاتحاد السوفييتى تنتج كراسى محاور بابعاد مختلفة ابتداء من ٥ر١ مم حتى ٦ر٢ متر حسب القطر الخارجى ، وبوزن من ٥ر. جرام الى ٥ر٣ طن .

المزايا والعيوب . مزايا كراسى محاور التدحرج بالمقارنة مع كراسى محاور الانزلاق : الفواقد القليلة على الاحتكاك فى فترة بدء التدوير، الدرجة العالية من التعويل عليها فى مقاومة العض، وفى الامان ضد الحريق، الاستهلاك القليل من مواد التزييت، رخصها النسبى ككراسى محاور تنتج بالجملة بانواع خاضعة للتوحيد القياسى وبساطة الخدمة.

وعيوبها الاساسية : الجساءة العالية نتيجة للمساحة القليلة لتماس العناصر العاملة، عمر الخدمة المحدود ، خصوصا فى حالات الاحمال

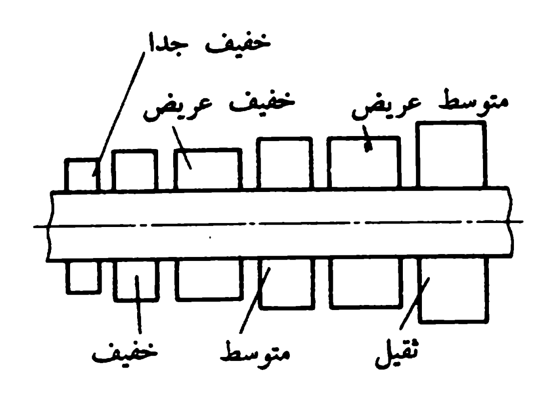
الكبيرة والسرعات الكبيرة، التفاوت الشديد فى اعمار خدمة كراسى المحاور من دفعة تشغيل واحدة، والتى تعمل وفق بارامترات متساوية فى نظام التشغيل، عدم صلاحيتها للتركيب مثلا على اعناق اذرع التوصيل، والاعناق الرئيسية البينية فى اعمدة المرفق، حيث ان حلقات كراسى محاور التدحرج لا يمكن فكها.

التقسيم. تبعا لشكل اجسام التدحرج تنقسم كراسى محاور التدحرج الى كراسى ذات كريات، وذات اسطوانات. وكراسى المحاور الابرية تعتبر حالة خاصة من كراسى محاور الاسطوانات.

وحسب طابع الحمل الذى تتلقاه كراسى المحاور تنقسم الاخيرة الى كراسى محاور قطرية، وهى تحمل فى الاساس احمالا قطرية، متعامدة على المحور الهندسى للعمود، وكراسى محاور صادة- وتتلقى الحمل على طول محور دوران كرسى المحور، وكراسى محاور قطرية صادة وتتلقى فى نفس الوقت احمالا فى الاتجاه القطرى وفى الاتجاه المحورى ايضا.

وحسب عدد صفوف اجسام التدحرج تنقسم الكراسى الى كراسى محاور احادية الصف، وثنائية ورباعية.

وحسب النسب بين ابعادها - بين القطر الخارجى D ، والقطر الداخلى d ، وعرض الكرسى B ، تنقسم الكراسى الى مجموعات خفيفة جدا، وخفيفة، وخفيفة عريضة، ومتوسطة، ومتوسطة عريضة، وثقيلة.



الشكل ٢٦-٢

وتتميز كراسى المحاور من المجموعات المختلفة فى الاساس بالحد الاقصى لعدد اللفات (الدورات) فى الدقيقة، والحد المسموح به للحمل القطرى او المحورى، وبمعامل المقدرة على العمل.

وتغيرات احجام وابعاد كراسى المحاور من مختلف المجموعات مع ثبات القطر d موضحة فى الشكل ٢٦ - ٢ .

وبعض كراسى محاور الكريات والاسطوانات موضحة فى الجدولين (٢٦ - ١) و(٢٦ - ٢) مع بيان مقدرة الحمل النسبية التقريبية.

تجرى مقارنة مقدرة الحمل بين الكراسى القطرية، والقطرية - المحورية من الانواع الاساسية، حسب كل مجموعة على الوجه التالى:

أ - كوحدة رمزية لمقدرة الحمل، اتخذت مقدرة حمل كرسى المحور ذى الكريات واحادى الصف (من طراز 0000)؛

ب- الحمل المحورى المسموح به، يبين كنسبة من مقدرة الحمل القطرية المسموح بها وغير المستغلة فى كرسى المحور من الطراز المعنى. واذا كانت مقدرة الحمل القطرية فى كرسى المحور Q ، فان الحمل المحورى المسموح به (A) فى نفس كرسى المحور، مع

تأثيره المشترك مع الحمل القطرى R هو $K(Q-R)$ ، حيث K معامل ترد قيمته فى العمود الاخير من الجدولين ٢٦-١ ، ٢٦-٢ .

وكرسى المحور ب (الجدول ٢٦-١) و د (الجدول ٢٦ - ٢) هما كرسيان يضبطان وضعهما ذاتيا ، وكراسى المحاور الباقية تعتبر من الكراسى غير القابلة للضبط الذاتى .

وبناء على المعطيات الواردة فى الجدولين ٢٦ - ١ ، ٢٦ - ٢ تتمتع كراسى المحاور من الطرازين 56000 ، 3000 باكبر مقدرة حمل قطرية. كما تتمتع كراسى محاور الاسطوانات احادية الصف من كل الانواع بمقدرة عالية على الحمل .

وزاوية الميل β فى الحلقات الخارجية (الجدول ٢٦ - ٢ ، هـ) فى كراسى محاور الاسطوانات المخروطية تكون فى العادة ٩ - ١٨° .
وكراسى المحاور المخصصة لتلقى الاحمال المحورية بالدرجة الرئيسية لها زاوية β تساوى ٢٥ - ٣٠ درجة.

ولتقليل احجام واوزان كراسى محاور التدحرج تستخدم اسطوانات رفيعة القطر - أبر، قطرها يتراوح بين ١ر٦ ، ٥ مم. وطول الابرة يكون ٥ - ١٠ مرات اكبر من قطرها. وكراسى المحاور هذه التى حصلت على تسمية كراسى المحاور الابرية مخصصة لتلقى احمال قطرية كبرى مع عدم وجود الاحمال المحورية.

وفى كراسى المحاور الابرية بدون فواصل يكون الخلوص المحيطى الكلى (بين اول وآخر ابرة) فى حدود ١ - ٢ مم، اما الخلوص القطرى بين الابر وبين مجارى الحركة فى الحلقتين فهو اكبر بكثير من هو عليه من كراسى محاور الاسطوانات والكريات ويساوى تقريبا الخلوص القطرى لكراسى محاور الانزلاق من نفس القطر.

والخلوصات المشار اليها تحدد من اعتبار ظروف عمل الابر التى تختلف بشدة عن ظروف عمل اجسام التدحرج فى كراسى محاور الاسطوانات من الانواع الاخرى.

وتعطى كراسى محاور الكريات والاسطوانات علامات ورموز على الرسم تستخدم فيها الارقام التى توصف صفة معينة لكرسى المحور حسب الشكل التالى :

الرقمان الاول والثانى من اليمين تعنى القطر الداخلى المقدر فى المحور (القطر المقدر للعمود فى موضع تركيب كرسى المحور) بالمم ، علما بان

أ - بالنسبة لكل الكراسى ذات اقطار الفتحات من ٢٠ مم فاعلى ، يرمز هذان الرقمان الى خارج قسمة القطر (بالمم) على ٥ ؛

ب - بالنسبة لكل الكراسى ذات الاقطار الداخلية من ١٠ الى ١٧ مم يرمز اليها بالشكل التالى

القطر الداخلى لكرسى المحور بالمم	١٠	١٢	١٥	١٧
الرمز	00	01	02	03

الجدول ٢٦ - ١

الانواع الاساسية لكراسى محاور الكريات

الرسم	اتجاه الاحمال المسلطة	نوع كرسى المحور	الرمز	مقدرة الحمل النسبية لكراسى المحاور — الحمل المسموح به: القطرى	مقدرة الحمل النسبية لكراسى المحاور — الحمل المسموح به: المحورى
(أ)	أ — R, A, A	القطرية احادى الصف	0000	١	حتى ٧ر٠
(ب)	ب — β, R, A, A	ثنائى الصف وكروى	1000	١	حتى ٢ر٠

		القطرى ـ الصادة			
(جـ)	ج	احادى الصف	36000	١ر٤	حتى ٧ر٠
(د)	د	ثنائى الصف	56000	٢ر٣	حتى ٧ر٠
		الصادة			
(هـ)	هـ	احادى	8000	لا يتلقى	١
(و)	و	ثنائى	38000	لا يتلقى	١

الجدول ٢٦ - ٢

الانواع الاساسية لكراسي محاور الاسطوانات

الرسم	اتجاه الاحمال المسلطة	نوع كرسى المحور	الرمز	مقدرة الحمل النسبية لكراسى المحاور — الحمل المسموح به — القطرى	المحورى
(أ)	R أ	القطرية بدون حواف للحلقة الخارجية	2000	٧ر١	لا يتلقى
(ب)	R ب	بدون حواف للحلقة الداخلية	32000	٧ر١	لا يتلقى

(جـ)	جـ R A A	بحافة واحدة للحلقة الداخلية وبحلقة صادة	92000	١ر٧	يتلقى بضآلة
(د)	د β R A A	ثنائى الصف وكروى	3000	٠ر٢	حتى ٢ر٠
(هـ)	هـ R	ابرى بحلقة خارجية ذات حافتين	74000	يتحدد خصوصا	لا يتلقى
		القطرية ـ المحورية			
(و)	و β R A	بصف واحد ـ مخروطى	7000	١ر٩	حتى ٧ر٠

جـ - بالنسبة لكراسى المحاور الصغيرة ذات الاقطار الداخلية حتى ٩ مم يشير الرقمان الاولان من اليمين البعد الحقيقى للقطر الداخلى بالمم .
واذا كان الرقمان الاولان يمثلان القطر الحقيقى وليس قطرا رمزيا ، يكون الرقم الثالث هو 0 .
والرقمان الثالث والسابع يمثلان مجموعة كرسى المحور بتوصيف كرسى المحور حسب القطر (الرقم الثالث) والعرض (الرقم السابع). ورموز المجموعات هى كالاتى - رقم ١ للخفيفة جدا؛ ٢ - للخفيفة؛ ٣ - للمتوسطة ؛ ٤ - للثقيلة ؛ ٥ - للخفيفة العريضة؛ ٦ - للمتوسط العريضة.
والرقم الرابع يرمز الى نوع كرسى المحور :

قطرى بصف واحد من الكريات 0
قطرى كروى بصفين من الكريات 1
قطرى باسطوانات قصيرة 2
قطرى كروى بصفين من الاسطوانات 3
ابرى أو باسطوانات طويلة 4
باسطوانات ملفوفة حلزونية 5
قطرية صادة ذات كريات 6
باسطوانات مخروطية 7
صادة بالكريات 8
صادة بالاسطوانات 9

وفى الجدولين ٢٦ - ١ ، ٢٦ - ٢ ترد الرموز الخاصة باهم انواع بعض كراسى المحاور .
والرقمان الخامس والسادس يوصفان الخصائص التصميمية لكرسى المحور.
ويرمز لدرجة دقة كراسى محاور التدحرج اما بحرف او اثنين بعد الارقام :

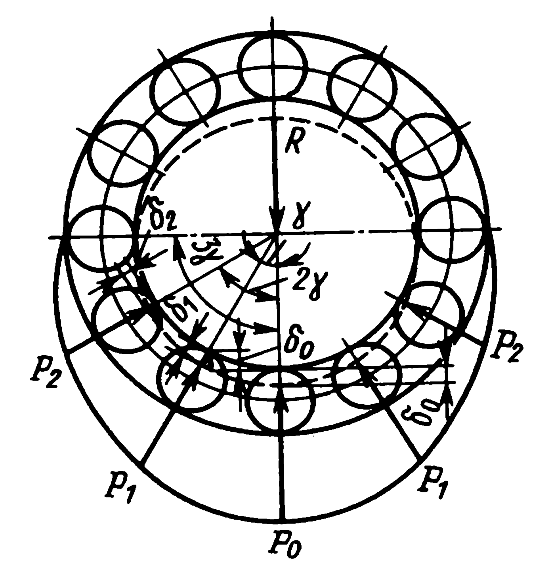
اعتيادية .... H (لا يعلّم)
بدقة زائدة .... П
بدقة زائدة خاصة .... BП
بدقة عالية .... B
بدقة عالية خاصة .... AB
بدقة رفيعة .... A
بدقة رفيعة خاصة .... CA
بدقة فوق الرفيعة C

مثلا : ١ - كرسى محور الكريات الدفعى احادى الصف (8) من المجموعة الثقيلة (4) ذو نصف القطر الداخلى ٥٥ مم (II) يرمز

اليه بالرمز 8411 ؛ ٢ - كرسى المحور القطرى الدفعى (6) من المجموعة الخفيفة (2) بزاوية β = ١٢° (3)، بنصف قطر داخلى ٣٥ مم (07) يومز اليه بالرمز 36207 .

اسس نظرية كراسى محاور التدحرج

توزيع الحمل بين اجسام التدحرج . فى كراسى محاور الكريات القطرية، يتوزع الحمل بلا انتظام بين اجسام التدحرج . ولنفرض ان الحمل R (الشكل ٢٦ - ٣) يؤثر على كرسى المحور. واذا افترضنا ان القوى التى تضغط على الكريات هى P_0 ، P_1 ، . . . ، P_n ، واذا استخدمنا شرط الاتزان فى الحلقة الداخلية الواقعة تحت تأثير هذه القوى، نحصل على



الشكل ٢٦ - ٣

$$R = P_0 + 2P_1 \cos\gamma + 2P_2 \cos 2\gamma + \ldots + 2P_n \cos n\gamma, \quad (26.1)$$

حيث γ ، 2γ ، . . . ، $n\gamma$ - الزوايا بين اتجاه عمل القوة R والمستوى القطرى للكرية المعنية.

واذا افترضنا ان حلقات كراسى المحاور تحتفظ بشكلها الدائرى (ولا تنثنى ايضا تحت تأثير الحمل)، فان انحراف الحلقة الداخلية بالنسبة للحلقة الخارجية سيكون سببها تشوهات التلامس δ_0 ، δ_1 ، δ_2 ، . . . δ_n فى مواقع تلامس الكريات مع قنوات الدوران فى الحلقتين، وعندها

$$\delta_1 = \delta_0 \cos\gamma;\ \delta_2 = \delta_0 \cos 2\gamma;\ \ldots;\ \delta_n = \delta_0 \cos n\gamma. \quad (26.2)$$

وعلى اساس نظرية تشوهات التلامس، فان العلاقة بين تشوه الكرية δ وبين القوة التى تحدثه P فى كرسى المحور المعنى ـ يمكن كتابتها فى الصورة التالية $\delta = C_b P^{2/3}$ ، اى :

$$\delta_0 = C_b P_0^{2/3};\ \delta_1 = C_b P_1^{2/3};\ \ldots;\ \delta_n = C_b P_n^{2/3};$$

حيث C_b ـ هو معامل التناسب.

ومن هذه المعادلات نستنتج ان

$$\frac{\delta_1}{\delta_0} = \left(\frac{P_1}{P_0}\right)^{2/3}; \ \frac{\delta_2}{\delta_0} = \left(\frac{P_2}{P_0}\right)^{2/3}; \ \ldots; \frac{\delta_n}{\delta_0} = \left(\frac{P_n}{P_0}\right)^{2/3}. \quad (26.3)$$

وبناء على الصيغ (26.2) ، (26.3)

$$P_1 = P_0 \cos^{3/2}\gamma; \ P_2 = P_0 \cos^{3/2} 2\gamma; \ldots; P_n = P_0 \cos^{3/2} n\gamma.$$

وبالتعويض عن هذه القيم فى المعادلة (26.1) نحصل على :

$$R = P_0(1 + \sum_{i=1}^{n} \cos^{5/2} i\gamma). \quad (26.4)$$

واذا ضربنا الطرف الايمن من هذه المعادلة فى عدد الكريات وقسمناه على هذا العدد وادخلنا عليها الرمز

$$K_b = \frac{z}{1 + 2 \sum_{i=1}^{n} \cos^{5/2} i\gamma}. \quad (26.5)$$

ينتج حينئذ ان اكبر حِمْلٍ على الكرية

$$P_0 = \frac{K_b R}{z} \quad (26.6)$$

وعند ما تكون z = ۱۰ ، ۱۵ ، ۲۰ تكون الزاوية γ = ۳٦ ، ۲٤ ، ۱۸°، وعلى ذلك تكون K_b = ٤ر۳۸ ، ٤ر۳۷ ، ٤ر۳٦ . واذا اخذنا القيمة المتوسطة K_b = ٤ر۳۷ ، لحصلنا على

$$P_0 = \frac{4.37 R}{z},$$

لقد حصلنا على هذه الصيغة مع افتراض انه فى كرسى المحور المعرض للحمل ، لا وجود للخلوص القطرى بين الكريات والحلقتين .
وفى كرسى محور الكريات الصاد ، عند ما يكون الحمل A ، موءثرا على طول محور الكرسى الصاد ، وبفرض ان ۸۰ ٪ فقط من الكريات تتلقى الحمل ، فان الجهد الواقع على كل كرية

$$P_0 = \frac{A}{0.8 z} = 1.25 \frac{A}{z}$$

اما فى كراسى المحاور القطرية بالاسطوانات يتوزع الحمل بين اجسام التدحرج بلا انتظام ايضا .
والعلاقة بين القوة P الضاغطة على الاسطوانة وبين تشوه الاخيرة δ ، لها الشكل

$$\delta = C_r P.$$

وبناء على ذلك

$$\delta_0 = C_r P_0;\ \ \delta_1 = C_r P_1;\ \ldots;\ \ \delta_n = C_r P_n \qquad (26.8)$$

حيث C_r ـ معامل التناسب.

ومن هذه المعادلات ينتج ان

$$\frac{\delta_1}{\delta_0} = \frac{P_1}{P_0};\ \ \frac{\delta_2}{\delta_0} = \frac{P_2}{P_0},\ \ldots;\ \ \frac{\delta_n}{\delta_0} = \frac{P_n}{P_0} \qquad (26.9)$$

والمعادلتان (26.1)، (26.2) صحيحتان بالنسبة لكراسى محاور الاسطوانات ايضا.

وبحل المعادلتين (26.2)، (26.9) معا، نحصل على

$$P_1 = P_0 \cos\gamma;\ P_2 = P_0 \cos 2\gamma;\ldots;P_n = P_0 \cos n\gamma$$

وبالتعويض عن هذه القيم فى المعادلة (26.1) نحصل على

$$R = P_0(1 + 2\sum_{i=1}^{n} \cos^2 i\gamma).$$

واذا رمزنا

$$K_r = \frac{z}{1 + 2\sum_{i=1}^{n} \cos^2 i\gamma} \qquad (26.10)$$

واذا كانت قيم z = ١٠ ــ ٢٠، نحصل على متوسط قيمة $K_r = 4$ ولاكثر الاسطوانات حملا $P_0 = \frac{4R}{z}$.

وتؤثر تأثيرا ملموسا على طابع توزيع الحمل بين اجسام التدحرج وعلى P_0 فى الكراسى القطرية، قيمة الخلوص القطرى. فمع زيادة هذا الخلوص حتى فى حدود المعدل ، يزيد الحمل الاقصى على جسم التدحرج بنسبة ١٥ ـ ٢٠ ٪ . لذا ففى صيغ P_0 لكراسى محاور الكريات والاسطوانات تؤخذ $K_b = 5$ و $K_r = 4.6$ ، ومن هنا

$$P_0 = \frac{5R}{z} \qquad (26.11)$$

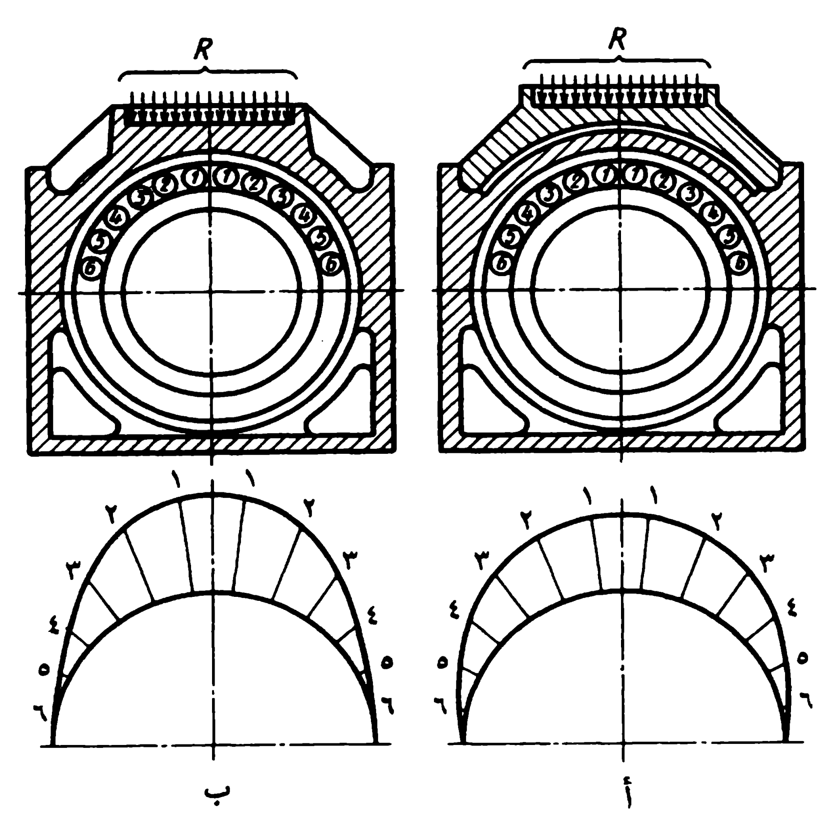
$$P_0 = \frac{4.6\,R}{z} \qquad (26.12)$$

وتؤثر على قيمة P_0 اخطاء الشكل الهندسى لاجزاء كرسى المحور. فاذا كانت الحلقة الخارجية بعد انحنائها تحت تأثير

الحمل الخارجي قد فقدت شكلها الدائرى الابتدائى ، يعاد توزيع الحمل على اجسام التدحرج .

الشكل ٢٦ - ٤ يبين كرسيى محاور لعربات السكك الحديدية ، الاول ذو مطيلية (أ) والثانى جاسئ (ب) ، كما يبين منحنى توزيع الاحمال على الاسطوانات فى كرسى المحور (مشار اليها بالارقام) .

تردد تحميل عناصر كرسى المحور. عند دوران كرسى المحور القطرى تتعرض كل كرية او اسطوانة اثناء مرورها بمنطقة التحميل ، الى اجهادات ضغط، وتعود بعد ذلك الى منطقة اللاحمل ويزول عنها هذا الاجهاد .



الشكل ٢٦ - ٤

وهكذا فان اجسام التدحرج تعمل فى ظروف التحميل الدورى . واذا ما تساوت الظروف الاخرى ، يعتمد تردد الحمل على اى الحلقتين تدور الداخلية ام الخارجية .

ويحوى الجدول ٢٦ - ٣ صيغ تعيين عدد لفات عناصر الكرسى القطرى وللاستدلال على ذلك ، يحوى الجدول ايضا نتائج تطبيقها فى حساب كرسى المحور 210 . وبناء على هذه المعطيات فان عدد لفات الفاصل يكون اقل فى الحالة عندما تدور الحلقة الداخلية. وعدد لفات الكرية لا يعتمد على نوعية الحلقة التى تدور .

وحيث ان اجسام التدحرج محصورة فى الفاصل ، فان تردد التحميل

الجدول ٢٦ - ٣

التناسبات الكينماتيكية لعناصر كرسي المحور القطرى

الحلقة الدوارة	صيغ تحديد سرعة الدوران		عدد اللفات فى الدقيقة			
	الفاصل	الكرية حول محورها	الحلقة الداخلية n_{in}	الحلقة الخارجية n_{out}	الفاصل n_0	الكرية n_b
الداخلية ($n_{in} = 0$)	$n_0 = \frac{n_{in}}{2} \cdot \frac{D_0 - d_b}{D_0}$	$n_b = n_{in} \frac{D_0^2 - d_b^2}{2D_0 d_b}$	١٠٠٠	صفر	٤٤٢	٢٦٥٢
الخارجية ($n_{out} = 0$)	$n_0 = \frac{n_{out}}{2} \cdot \frac{D_0 + d_b}{D_0}$	$n_b = n_{out} \frac{D_0^2 - d_b^2}{2D_0 d_b}$	صفر	١٠٠٠	٥٩٢	٢٦٥٢

ملحوظة : هنا D_0 - القطر المتوسط للفاصل ، d_b - قطر الكرية.

الجدول ٢٦ - ٤

معادلات تعيين تردد التحميل

الحلقة الدوارة	عدد الدورات للحلقة	
	الداخلية	الخارجية
الداخلية	$u_1 = \frac{z}{2} \frac{D_0 + d_b}{2D_0}$	$u_4 = z \frac{D_0 - d_b}{2D_0}$
الخارجية	$u_2 = z \frac{D_0 + d_b}{2D_0}$	$u_3 = \frac{z}{2} \frac{D_0 - d_b}{2D_0}$

الذى تعانى منه اية نقطة فى ممر الدوران ، يعتمد على اى الحلقتين تدور. وهذا التردد يمكن ان يحسب من الصيغ الواردة فى الجدول ٢٦ - ٤ . واذا ما قارنا بين الصيغ الواردة، لوجدنا ان الحلقة الداخلية تتلقى عددا اكبر من الدورات فى التحميل مما تتلقاه الحلقة الخارجية. وعلاوة على ذلك فانه حسب المعادلتين (26.13)، (26.15)،

تتعرض الحلقة الداخلية لاجهادات ضغط اكبر، وذلك مع ثبات باقي الظروف. لذا فعند دوران الحلقة الخارجية يحدث التحطم الكلاكي في المعدن بشكل اسرع مما هو عليه الحال عندما تدور الحلقة الداخلية. وفي غالبية الاحوال تستخدم تركيبات تدور فيها الحلقة الداخلية.

<u>الاجهادات في مواضع تلامس اجزاء كرسي المحور.</u> تحدد الاجهادات القصوى في موضع التلامس بين اجسام التدحرج وبين حلقتي كرسي المحور بواسطة الحمل P_0 .

وتأخذ المعادلة (2.29) الخاصة بتعيين الاجهادات القصوى في موضع تلامس اكثر الكريات اجهادا مع ممر الدوران في حلقة كرسي محور الكريات القطرى احادى الصف، تأخذ الصورة التالية:

$$\sigma_{max} = \frac{4100}{m_1 m_2} \sqrt[3]{P_0\left(\frac{4}{d_b} \pm \frac{1}{r_{in(out)}} - \frac{1}{r_{rw}}\right)^2} \text{ kgf/cm}^2 \qquad (26.13)$$

حيث m_1 ، m_2 - معاملان يأخذان تقوس اسطح التماس في الاعتبار؛

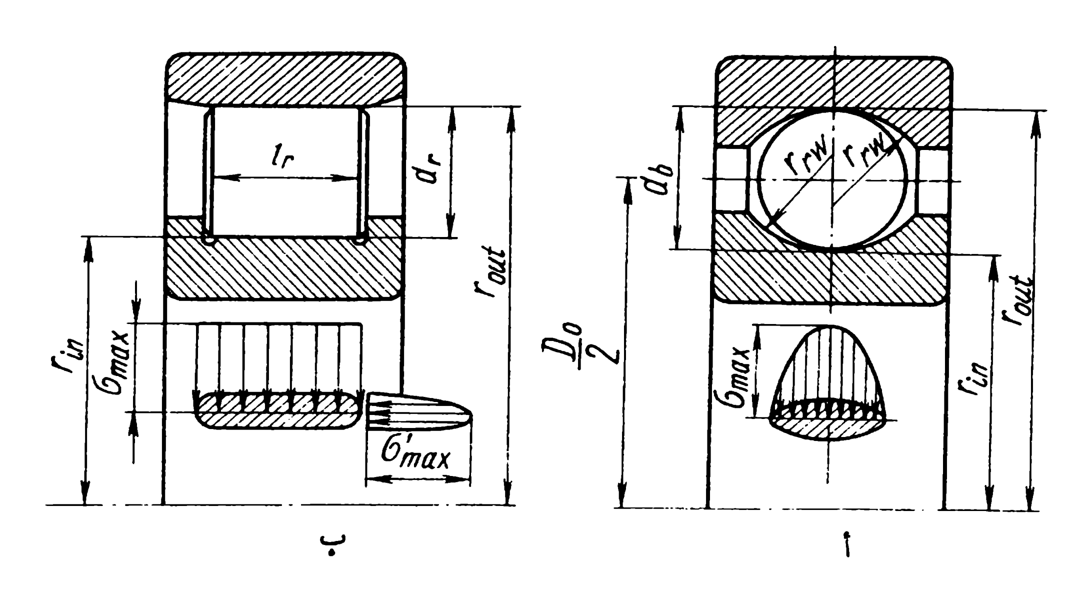
d_b - قطر الكرية بالسم؛

r_{in} ، r_{out} - نصفا قطرى تدحرج الكرة على الدوران في الحلقتين الداخلية والخارجية على التوالي في كرسي المحور بالسم (الشكل ٢٦ - ٥، أ)؛

r_{rw} - نصف قطر التقوس في ممر الدوران بالسم.

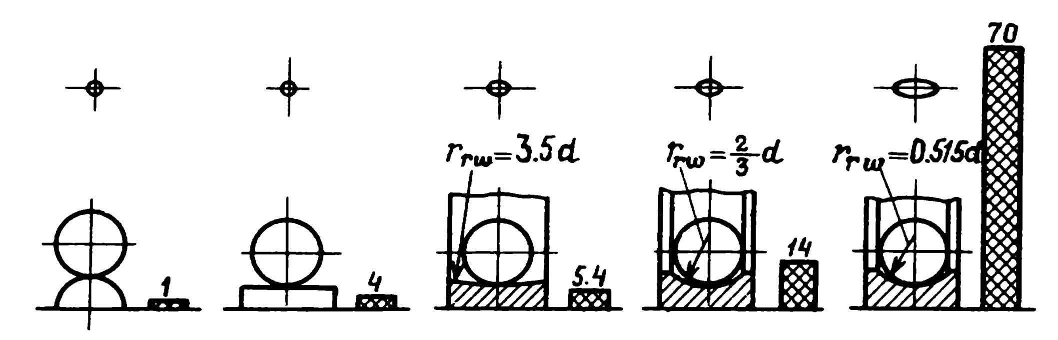
وعلامة (+) تؤخذ للحلقة الداخلية، اما علامة (-) فتؤخذ للحلقة الخارجية.

ومن المعادلة نجد انه كلما قل نصف القطر r_{rw} مع ثبات باقي الظروف الاخرى، اى انه كلما كان سطح الارتكاز محاطا بشكل اكبر حول الكرية، قلت σ_{max} ، وكانت ظروف انتقال القوى افضل.



الشكل ٢٦ - ٥

والحمل الذى يؤدى الى اجهاد واحد فى مساحة التماس بالنسبة لكريتين ، يكون اقل بنسبة ٤ر٥ مرة من الحمل فى حالة تماس الكرية مع سطح كروى له $r_{rw} = 3.5d$. ومع اقتراب نصف القطر r_{rw} لممر الدوران من نصف قطر الكرية، يزيد الحمل المسموح له، وعندما يكون $r_{rw} = 0.515\ d_b$ ، يكون هذا الحمل اكبر بمقدار ٧٠ مرة من الحمل من حالة التماس بين كريتين (الشكل ٢٦ - ٦).



الشكل ٢٦ - ٦

ومع زيادة مساحة التماس يزيد احتكاك الانزلاق بين الكرية وممر الدوران فى الحلقة.

ومساحة التماس تكون اكبر باستمرار فى ممر الدوران للحلقة الخارجية المقعرة بالنسبة للكرية، عن ممر الدوران للحلقة الداخلية المحدبة بالنسبة للكرية. ولهذا السبب يكون الاجهاد σ_{max} فى الحلقة الداخلية اكبر [انظر المعادلة (26.13)] ومن اجل بعض التساوى فى الاجهادات، عندما يكون نصف قطر ممر الدوران فى الحلقة الداخلية $r_{rw} = 0.515d_b$ ، يؤخذ هذا القطر فى بعض الاحيان فى الحلقة الخارجية $r_{rw} = 0.533\ d_b$.

واذا ما اعتبرنا فى المعادلة (26.13) $r_{in(out)} = \alpha d_b$ و $r_{rw} = \beta d_b$ ، حيث α, β ثابتان ، نحصل على :

$$\sigma_{max} = \frac{4100}{m_1 m_2} \sqrt[3]{\left(4 + \frac{1}{\alpha} - \frac{1}{\beta}\right)^2} \sqrt[3]{\frac{P_0}{d_b^2}} = \lambda_b \sqrt[3]{\frac{P_0}{d_b^2}} \qquad (26.14)$$

وهنا $\lambda_b = \frac{4100}{m_1 m_2} \sqrt[3]{\left(4 + \frac{1}{\alpha} - \frac{1}{\beta}\right)^2}$ ، وهذا المقدار يعتمد على تصميم كرسى المحور. وبالنسبة لكراسى المحاور ذات الكريات، الموصفة قياسيا ، فان $\lambda_b = 5100 \div 5400$.

والمعادلة (2.30) ،لتعيين اجهادات التماس القصوى بين الاسطوانات والحلقتين تأخذ الشكل التالى :*

---

* بناء على ابحاث الاكاديمى كابيتسا (١٩٥٥) ، فان الاجهادات الحقيقية اثناء دوران كرسى المحور المزيت، تكون اقل كثيرا من الاجهادات المحسوبة من المعادلتين (26.13) ،(26.15) نتيجة لزيادة طبقة الزيت لمساحات التماس بين عناصر كرسى المحور المتماسة.

$$\sigma_{max} = 610 \sqrt{\frac{P_0}{l_r}\left(\frac{2}{d_r} \pm \frac{1}{r_{in(out)}}\right)} \text{kgf/cm}^2 \qquad (26.15)$$

حيث l_r ، d_r ـ طول وقطر الاسطوانة بالسم ؛
r_{in} ، r_{out} ـ نصفا قطرى تدحرج الاسطوانة على طول ممر الدوران فى الحلقتين الداخلية والخارجية على التوالى (الشكل ٢٦ - ٥، ب).
واذا رمزنا $r_{in} = \alpha' d_r$ ، حيث α' مقدار ثابت، يمكن كتابة المعادلة (26.15) فى الصورة

$$\sigma_{max} = 610 \sqrt{1 + \frac{1}{\alpha'}} \sqrt{\frac{P_0}{l_r d_r}} = \lambda_0 \sqrt{\frac{P_0}{l_r d_r}} \qquad (26.16)$$

حيث

$$\lambda_r = 610 \sqrt{2 + \frac{1}{\alpha'}},$$

وبالنسبة لكراسى المحاور القطرية القياسية ذات الاسطوانات القصيرة $\lambda_r = 955$.

<u>فواقد الاحتكاك</u>. وتتكون من فقد الاحتكاك بين اجسام التدحرج وبين الحلقتين، بين اجسام التدحرج وبين الفاصل، والفقد فى المقاومة الهيدروديناميكية للزيت وفقد الاحتكاك فى الحواكم.

وعزم الاحتكاك فى كرسى المحور يساوى

$$M_f = \frac{Qfd}{2} \text{ kgf mm}$$

وفاقد القدرة فى الاحتكاك يساوى

$$N_{lb} = \frac{Qf\pi dn}{1000 \times 60 \times 102} = 17 \times 10^{-10}\, Qf\pi dn \text{ kW}, \qquad (26.17)$$

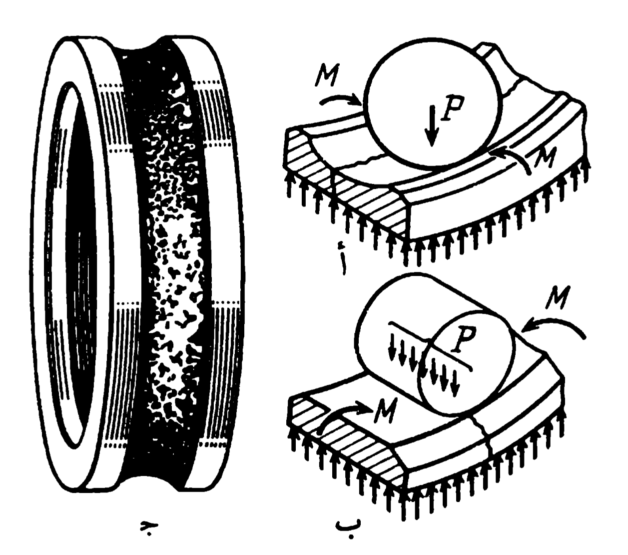
حيث Q ـ الحمل المؤثر على كرسى المحور كجم؛
f ـ معامل الاحتكاك فى كرسى المحور، "المكافئ" عند العمود، وتتراوح قيمته تبعا لنوع كرسى المحور بين ٠٠٢ر٠ و٠٢ر٠؛
d ـ قطر العمود بالمم؛
n ـ عدد لفات العمود فى الدقيقة.

<u>انواع الاعطاب ومعايير الحساب</u>. تزول صلاحية كراسى محاور التدحرج للعمل نتيجة لاعطاب اسطح عمل عناصر كراسى المحاور.
وفى حالة التركيب الصحيح لكراسى المحاور، وظروف استخدامها الطيبة، فان ابعاد عناصر كراسى المحاور القياسية تضمن متانتها.
وفى حالة زيادة الحمل عن الحد اللازم، تصاب فى المعتاد الحلقة الخارجية لكرسى المحور بالعطب، ومستوى كسر حلقة كرسى محور

الكريات ، يمر فى المعتاد على طول ممر الدوران العمودى على محور الكرسى .

ووضع مستوى الكسر يختلف فى الحلقة الخارجية بين كراسى المحاور ذات الكريات وذات الاسطوانات، ويمكن فهمه اذا استعرضنا عناصر الحلقة الخارجية، كلوحة تستند على قاعدة مرنة ومحملة من جهة بضغط الكرية او الاسطوانة، ومن الجهة الاخرى بمجموعة من القوى والعزوم مسلطة على طول حواف هذا العنصر (الشكل ٢٦ - ٧، أ، ب) .

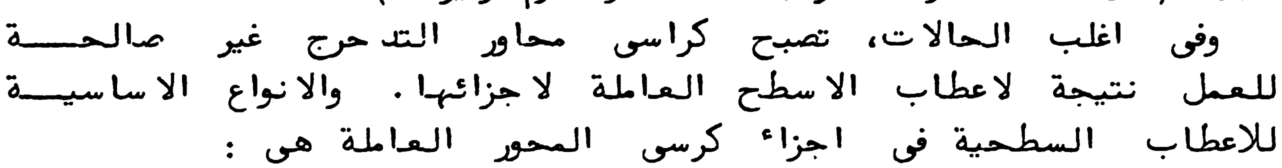
وعند انحراف كراسى المحاور، يزيد بشدة الحمل المسلط على بعض اجسام التدحرج ، وينتج عن ذلك ان تصبح هذه الاجسام واقعة تحت ضغط شديد .



الشكل ٢٦ - ٧

والفصل يتعرض للاصابة بالاضرار اكثر من غيره من العناصر الاخرى . والفواصل المصنوعة بالكبس وذات الجدران الرقيقة تتحطم عند المقاطع الضعيفة نتيجة لاحتوائها على ثقوب بفرض البرشمة، اما الثقيلة فتعطب عند اقواس التلاحم الموجودة بين عناصر التدحرج .

والسبب الاساسى فى تحطم الفواصل هو الضغط الكبير من جانب اجسام التدحرج نتيجة لقوى الطرد المركزى، التى تكون اكبر كلما زادت السرعة المحيطية. ولهذا السبب نجد ان فواصل كراسى المحاور العاملة بسرعات عالية تصنع من مواد تتمتع بمتانة عالية وبوزن نوعى قليل (مثل التكستوليت وسبائك الالومينيوم وغيرها) .



وفى اغلب الحالات، تصبح كراسى محاور التدحرج غير صالحة للعمل نتيجة لاعطاب الاسطح العاملة لاجزائها . والانواع الاساسية للاعطاب السطحية فى اجزاء كرسى المحور العاملة هى :

يحدث التآكل بالحك اثناء عمل كرسى المحور ذى الحماية الرديئة فى وسط ملوث باتربة حاكة. وتنتج عن ذلك خلوصات كبيرة بين الحلقات واجسام التدحرج .

وتكون الحفر (مثل الحادثة نتيجة لاختبار الصلادة بطريقة برينيل) نتيجة للزيادة عن حد المرونة للمادة عند سطح الارتكاز بين جسم التدحرج وبين الحلقة، وهو ما يحدث فى العادة مع الاحمال الديناميكية والاستاتيكية الكبرى بدون دوران .

تفتت الاسطح العاملة فى اجزاء كرسى المحور نتيجة لاجهاد التماس الدورى، ويعتبر السبب الاساسى لخروج كراسى محاور

التدحرج عن نطاق الصلاحية للعمل . وآلية التفتت بالتماس فى ممرات الدوران فى الحلقات واجسام التدحرج مماثلة لنظيرتها فى العجلات المسننة. والشكل ٢٦ - ٧، جـ يبين التفتت الكامل فى حلقة كرسى محور كريات قطرى دفعى .

وتحسب كراسى المحاور وفق معيار مقدرة الحمل الاستاتيكية، لتلافى حدوث الحفر، ووفق معيار الاطاقة (التحمل الكلالى) .

مقدرة عمل كراسى محاور التدحرج . اذا كانت مجموعة من كراسى المحاور القطرية من ابعاد معينة تعمل تحت حمل ثابت R_1 ، ومجموعة اخرى تحت حمل R_2 مع ثبات باقى ظروف التشغيل ، فان قيم R_1 ، N_1 و R_2 ، N_2 ترتبط بالعلاقة التجريبية التالية:

$$\frac{R_1}{R_2} = \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^{0.3}$$

ومن هنا

$$R_1 N_1^{0.3} = R_2 N_2^{0.3} = \text{const}, \tag{26.18}$$

حيث N_1 ، N_2 - عمرا خدمة كرسيى المحور لكلتا المجموعتين على التوالى .

ويفهم من عمر الخدمة الحسابى لكرسى المحور N تلك الفترة الزمنية المعبر عنها بالمجموع الكلى لعدد اللفات التى يعمل خلالها ما لا يقل عن ٩٠ ٪ من كراسى المحاور من مجموعة واحدة وذات ابعاد متشابهة فى ظروف تشغيل متساوية.

واذا ما اثر على كرسى المحور فى وقت واحد حمل قطرى R ، واخر محورى A ، فيمكن استبدالهما بحمل قطرى $Q = f(R, A)$ مكافىء فى تأثيره على عمر خدمة كرسى المحور، لما تؤثر به القوتان A و R . وعندئذ ، وعلى اساس العلاقة (26.18) ، ستكون العلاقة التى تربط بين Q وعمر التشغيل الحسابى N فى حالة دوران الحلقة الداخلية لكرسى المحور :

$$QN^{0.3} = C_1 \tag{26.19}$$

واذا ما حسبنا عمر التشغيل N بملايين اللفات، فان القيمة $N = 1$ (اى مليون واحد من اللفات) هى قيمة Q عندما تتساوى عدديا مع C_1 [انظر العلاقة (26.19)] ، وبناء عليه فان C_1 هى مقدرة حمل كرسى المحور بالكجم عندما يساوى عمر تشغيله مليون لفة. وتعتمد القيمة C_1 على ابعاد وتصميم ومواد كرسى المحور.

وحيث ان $N = 60 \times 10^{-6} nh$ ، حيث h - هى عمر التشغيل بالساعات، فبعد التعويض بهذه القيمة فى المعادلة (26.19) نحصل

على

$$Q(nh)^{0.3} = \frac{C_1}{(60 \times 10^{-6})^{0.3}}$$

او اذا رمزنا

$$\frac{C_1}{(60 \times 10^{-6})^{0.3}} = C$$

فان

$$Q(nh)^{0.3} = C$$

حيث C - معامل مقدرة العمل ويعتمد على تلك العوامل التى يعتمد عليها المعامل C_1 .

وحتى فى حالة التقليل الضئيل للاجهاد على سطح ارتكاز جسم التدحرج مع الحلقة، يزيد بشدة عمر تشغيل كرسى المحور فمثلا ، اذا ما استخدم جسم مطيلى لكرسى محور الاسطوانات (الشكل ٢٦-٤، أ)، يمكن تقليل كل من P_0 ، σ_{max} . وعلى اساس المعادلتين (26.16)، (26.19) فان :

$$N = \frac{C_2}{\sigma_{max}^{6.66}}$$

حيث C_2 - تعتمد على نفس العوامل التى تعتمد عليها C_1 . ومن هذه العلاقة نستنتج انه مع تقليل σ_{max} بنسبة ١٠ ٪، يزيد عمر التشغيل بمقدار ١ر١^٦٫٦٦ ، اى الى الضعف تقريبا .

ويعتمد عمر تشغيل كرسى المحور ايضا على سرعة الدوران اذ يقل مع زيادة السرعة.

الحد الاقصى لسرعة الدوران - وهو اكبر عدد لفات فى الدقيقة مسموح به، واذا ما زاد عدد اللفات عنه لا يتوفر العمر الحسابى للتشغيل .

وبالنسبة لاى كرسى محور من المجموعة الخفيفة يكون اقصى عدد لفات مسموح هو

$$n_{max} = \frac{L}{d}$$

حيث d - قطر العمود بالمم .

والقيم التجريبية للمعامل L بالنسبة لكراسى المحاور من الانواع الاساسية، وذات الدرجات العليا للدقة (من B الى C) واردة فى الجدول ٢٦ - ٥ .

الجدول ٢٦ - ٥

القيم الحدية للمعامل L عندما يكون

d > ١٠ مم

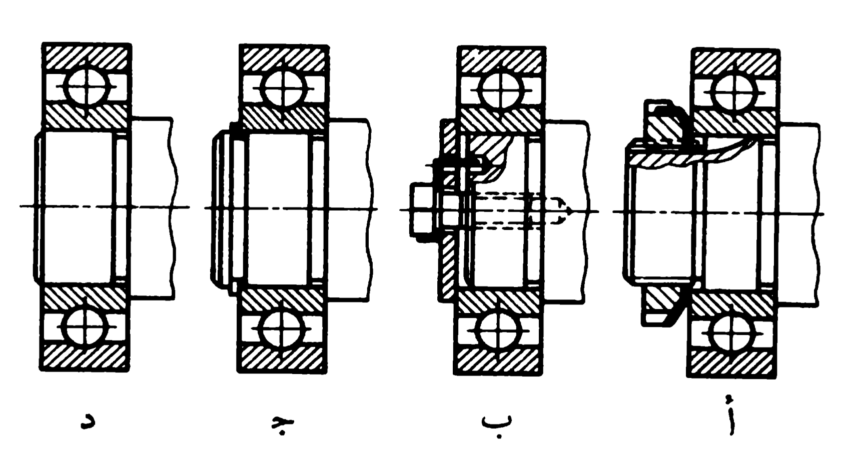
نوع كرسى المحور	$L = dn$ (مم·لفة/دقيقة)
كرسى محور بالكريات احادى الصف قطرى، وثنائى الصف كروى بفواصل مكبوسة	٣٠٠ ٠٠٠
كرسى محور بالكريات احادى الصف قطرى، وقطرى دفعى بفواصل سميكة من المعادن اللاحديدية ومن التكستوليت	١ ٠٠٠ ٠٠٠
كرسى محور دفعى	١٠٠ ٠٠٠
كرسى محور اسطوانات كروى	١٥٠ ٠٠٠

وبالنسبة لكراسى المحاور من المجموعة المتوسطة تكون n_{max} اقل بنسبة ٢٠٪، وللثقيلة بنسبة ٥٠٪ مما هى عليه بالنسبة للكراسى من المجموعة الخفيفة.

تصاميم وحدات كراسى المحاور

تركيب كراسى المحاور. لتلقى الاحمال المحورية، تثبت كراسى المحاور على العمود وفى الجسم.

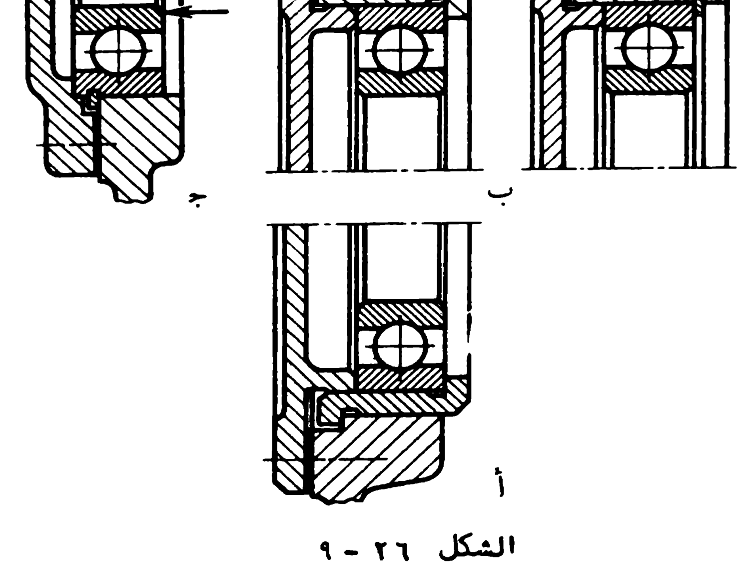
يبين الشكل ٢٦ - ٨، أ ـ د اوسع الوسائل انتشارا فى تثبيت كراسى المحاور على العمود: بصامولة ارتكاز (للاحمال المحورية الكبيرة)، وبوردة



الشكل ٢٦ - ٨

طرفية (للاحمال المحورية المتوسطة)، وبحلقة زنق زنبركية تركب فى قناة حلقية على العمود (للاحمال المحورية المتوسطة)، وبدرجة على العمود ترتكز عليها حلقة الكرسى اذا لم يكن بمستطاع ان ينحرف فى الاتجاه المضاد.

والوسائل المنتشرة فى تثبيت كراسى المحاور فى الجسم مبينة فى الشكل ٢٦ - ٩، أ - جـ : بربط الحلقة الخارجية فى كرسى المحور بين طرف الغطاء وبين الحافة الصادة من الجسم او الماكينة (للاحمال المحورية الكبرى فى اتجاه الحافة الصادة)، بربط الحلقة الخارجية فى كرسى المحور بين الغطاء وبين حلقة زنبركية (للاحمال المحورية الصغيرة والمؤثرة فى اتجاه الحلقة)، بادخال حلقة زنبركية فى قناة الزنق (الايقاف) فى كرسى المحور وبالضغط فى اتجاه حافة الجسم بواسطة الغطاء عندما لا يكون كرسى المحور محملا بحمل محورى او ان يكون هذا الحمل مؤثرا فى الاتجاه المشار اليه فى الرسم بسهم.



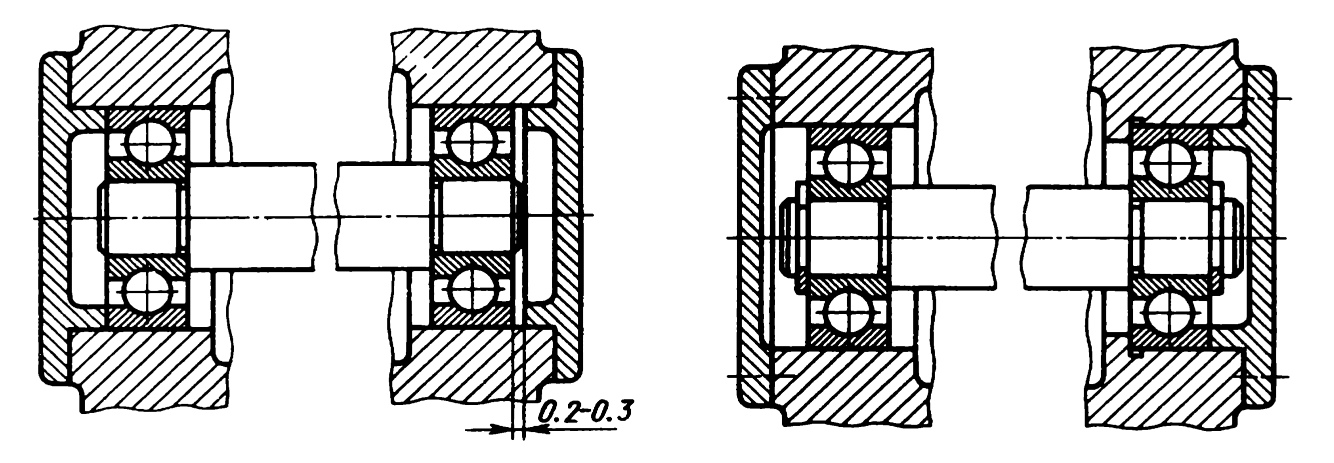
الشكل ٢٦ - ٩

واختيار نوع توافقات كراسى محاور التدحرج مع العمود والجسم يعتمد على العديد من العوامل: طبع الحمل، نوع تحميل الحلقات (تحميل موضعى او دائرى)، ونوعية مواضع اسطح التوافق، ونوع كرسى المحور وغير ذلك.

وتوافق كراسى محاور الكريات والاسطوانات على العمود تنفذ وفق نظام الثقب، اما بالنسبة للجسم، فتنفذ حسب نظام العمود. وتحوى المراجع توصيات لاختيار التوافقات (fits).

واشكال تجميع كراسى المحاور المختلفة على اعمدتها يمكن تقسيمها الى نوعين. فى التصميم من الطراز *I* : تقوم احدى الركيزتين بتثبيت وضعية العمود فى الخط المحورى وفى كلا الاتجاهين (الشكل ٢٦ - ١٠)، اما الركزة الاخرى، فتكون "عائمة". وحسب هذا التصميم تركب الاعمدة ذات الاطوال الاكبر، اى التى يزيد طولها عن قطر العمود بمقدار ١٢ ÷ ١٥ مرة، حيث انه نتيجة لتقلب درجات الحرارة يمكن ان تنتج على كراسى المحاور ضغوط محورية كبيرة قد تؤدى الى اخراجها قبل الاوان من نطاق الصلاحية للعمل.

وفى التصميم من الطراز II : تقوم كلتا الركيزتين بتثبيت العمود فى الاتجاه المحورى، ولكن من جهة واحدة (الشكل ٢٦ - ١١). وتركيب كراسى المحاور وفق هذا التصميم مسموح به للاعمدة القصيرة.



الشكل ٢٦ - ١٠

الشكل ٢٦ - ١١

ويبين الشكل ٢٦ - ١٢ تصاميم مختلفة لتركيب كراسى المحاور على عمود الدودة، التى تتلقى حملا متغير الاتجاه: أ - كرسيا محور مخروطيان مثبتان بخلوص مع الفطائين، وفى كافة الحالات الاخرى يكون كرسى المحور الايسر " عائما "، اما الايمن: ب - ثنائى الصف قطرى دفعى بالكريات؛ جـ - ثنائى الصف قطرى دفعى مخروطى؛ د - ثنائى دفعى، واخر قطرى.

وعندما لا تسمح ظروف التجميع بتركيب كراسى المحاور حسب محور واحد، وكذلك عندما منحنى الاعمدة تحت تأثير الحمل، يجب استخدام الكراسى الكروية ذات الكريات او الاسطوانات التى تسمح بالانحراف فى محاور الاعمدة حتى عدة درجات، على حين ان كراسى المحاور القطرية من كل الانواع تعمل بشكل مرض فى حالة ما اذا كانت الانحرافات لا تتعدى الدقائق.

الشكل ٢٦-١٢

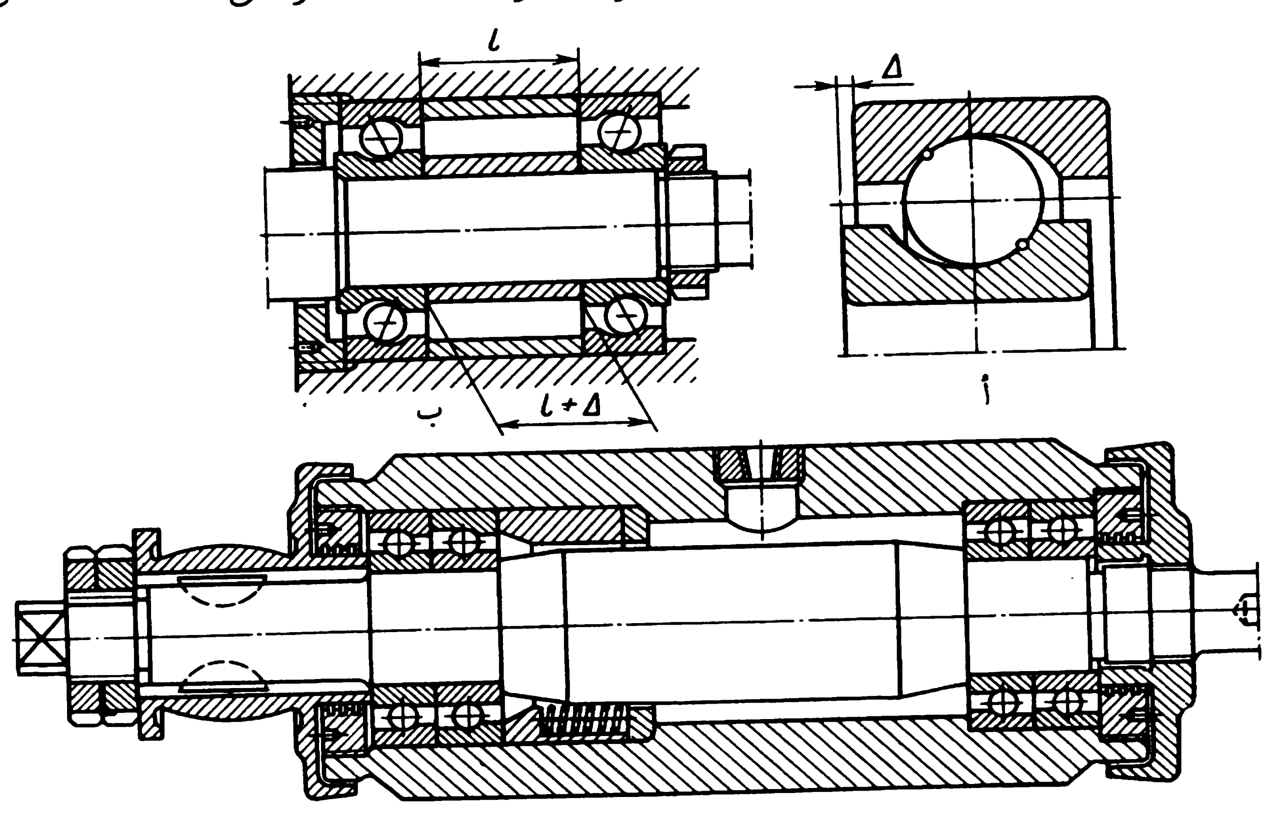
ولتبسيط التصميم يوصى بتركيب العمود فى كراسى محاور بقطر واحد حتى فى الحالات التى تكون فيها الاحمال مختلفة كثيرا فى قيمتها، علما بانه فى هذه الحالات يمكن لخراطة البيتين التجويفين (مثلا فى جسم مخفض للسرعة) ان تتم بعملية تثبيت واحدة على المخرطة مما يؤدى الى تطابق جيد فى المحاور.

وفى الكثير من الحالات تطرح على كراسى محاور التدحرج المتطلبات: ادنى حد من الانحرافات الاهتزازية القطرية والمحورية

(الطرفية)، التى تنعكس بالضرر على عمل الماكينة. والسبب فى هذه الانحرافات الاهتزازية ينشأ عن الشكل غير الدقيق والتشوهات المرنة فى اجزاء كرسى المحور، وكذلك نتيجة وجود خلوصات قطرية ومحورية فى كراسى المحاور.

ومن المستحيل التخلص تماما من التشوهات المرنة فى اجزاء كرسى المحور، لذا فان الوسيلة الاساسية لتقليل الانحرافات الاهتزازية يعتبر وضع القيود بالنسبة للخلوصات الداخلية، ويتم التوصل الى هذا فى كراسى محاور الكريات بما يسمى بالاحكام الابتدائى، الذى يحدث بمساعدة الانحراف النسبى المحورى بين الحلقات بمقدار صغير Δ ، ينتج عنه ان الكريات تأخذ وضعا فى ممرات الدوران مبينا فى الشكل ٢٦ - ١٣، أ .

والاحكام الابتدائى يمكن ان يتم عن طريق تركيب جلب دافعة بالاطوال مختلفة بين الحلقات الخارجية والداخلية لكراسى المحاور



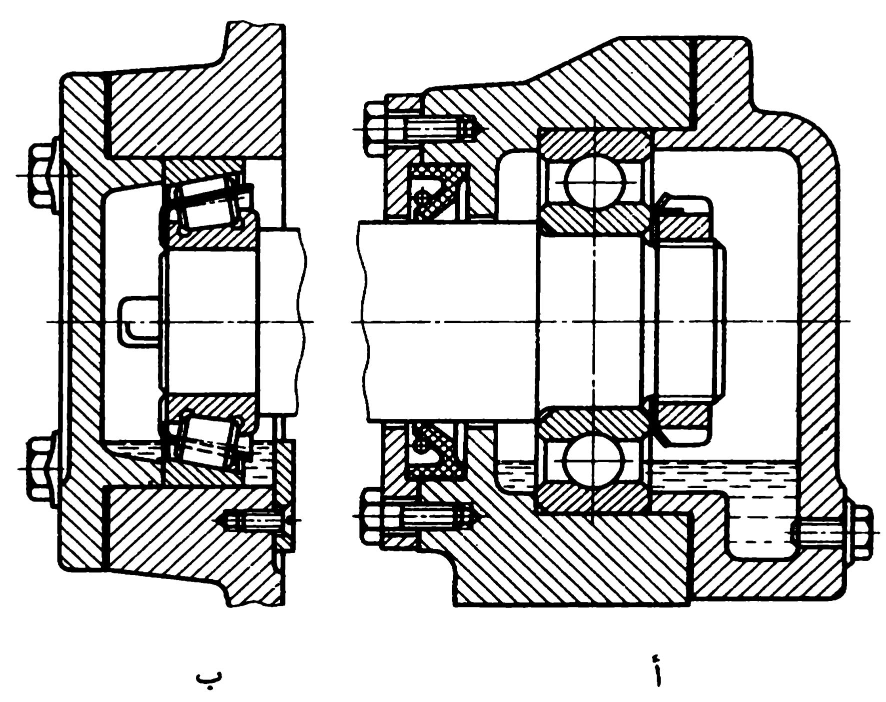
الشكل ٢٦ - ١٣

(الشكل ٢٦ - ١٣، ب). وفى بعض الاحيان يتكون الاحكام الابتدائى بمساعدة يايات تضغط على احدى الحلقتين فى كرسى المحور، (الشكل ٢٦ - ١٣ ، جـ).

<u>تزييت كراسى محاور التدحرج</u> . تستخدم لتزييت كراسى محاور التدحرج زيوت التزييت والشحوم.

وعندما تكون $dn < 3 \times 10^5$ mm · rev/min (المناظرة للسرعة المحيطية الاقل من ١٥ مترا فى الثانية على العمود) يكفى سكب كمية

غير كبيرة من الشحم فى كرسى المحور او ان يزيت بطريقة الرش.
اما اذا كانت $dn > 3 \times 10^5$ mm rev/min فيجب استخدام دورة تزييت.
ويجب ان يكون التزييت معتدلا. ومستوى الزيت يجب ان يكون منخفضا وذلك تجنبا للفواقد الاضافية فى الاحتكاك الناتج من حركة الزيت، وخصوصا فى حالات السرعات العالية. وفى حالة التزييت فى حمام زيتى، يجب الا يزيد مستوى الزيت فى الحمام عن مركز الكرية السفلى (الشكل ٢٦ - ١٤، أ) او الاسطوانة (الشكل ٢٦ - ١٤، ب).
وعلاوة على تخفيض الاحتكاك، واستيعاب الحرارة الناتجة فان زيت التزييت بملئه الخلوصات بين اجزاء كرسى المحور، يوفر مرونة



ب أ

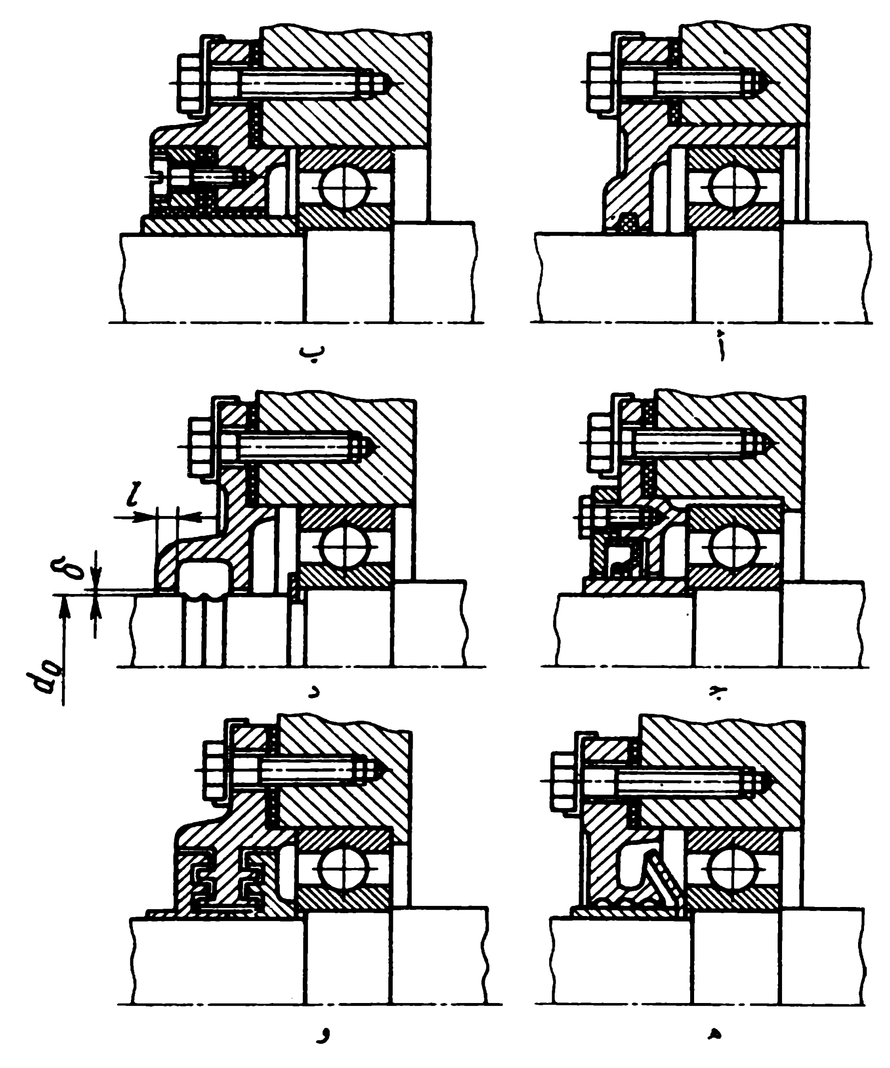
الشكل ٣٦ - ١٤

تلقى اهتزازات الحمل ويمنع حدوث التآكل بالصدأ فى اسطح التدحرج.
وزيوت التزييت المستخدمة فى كراسى محاور التدحرج يجب ان تكون متعادلة ومستقرة بالنسبة لخواصها الطبيعية والكيميائية.
وتحوى المراجع معلومات اكثر تفصيلا عن اختيار زيت التزييت.
وسائل الاحكام. لمنع تسرب زيت التزييت من المناطق المزيتة ولحماية كراسى المحاور من ترسب الاتربة والاوساخ اليها، تستخدم مختلف انواع وسائل الاحكام.
ويمكن تقسيم كل وسائل الاحكام الى مجموعتين: ١ - احكام التماس الذى يخلق الاحكام فى الوصلة نتيجة التماس المحكم بين الاجزاء المتحركة وبين عناصر الاحكام، ٢ - الاحكام بواسطة الشقوق والتعرجات، وفيه يتوفر احكام الوصلة بالنسبة للاجزاء المتحركة حركة نسبية بمقدرة الشقوق الضيقة او الخلوصات الصغيرة على ابداء مقاومة هيدروديناميكية بالنسبة لزيت التزييت.

واكثر انواع الاحكام انتشارا من المجموعة الاولى ترد فى الشكل ٢٦ - ١٥ ،أ (احكام باللباد من اجل المحافظة على الشحوم) ، وفى الشكل ٢٦ - ١٥ ، ب (حشو الاحكام بالجلد فى حالة الضغط العالى للزيت) .

والشكل ٢٦ - ١٥ ، ج يبين وسيلة احكام يجرى استخدامها عند ما تكون $dn < 12 \times 10^4$ mm · rev/min

واهم عيوب وسائل الاحكام المصنوعة من اللباد ، والفلين والجلد هو ميلها للحفاظ على الجزيئات الحاكة فوق السطح المراد احكامه. وبعد



الشكل ٢٦ - ١٥

قضى بعض الوقت تبدأ عناصر الاحكام فى العمل كآلة حاكة، وتأخذ بذلك الاسطح الملاصقة فى التآكل الشديد . ومن اجل تقليل التآكل ، من المرغوب فيه ان تكون درجة نقاوة تشغيل اسطح الاعمدة المعرضة للتحكم بما لا يقل عن الدرجة السابعة اما صلادتها فيجب ان تكون $Rc > 50$.

والشكل ٢٦ - ١٥ يبين ايضا بعض تصاميم وسائل الاحكام من المجموعة الثانية، د ـ الاحكام عن طريق تكوين الشقوق ، هـ ـ الاحكام بالمضايق المتعرجة. وتستخدم وسائل الاحكام من هذه المجموعة عند ما تكون $dn > 12 \times 10^4$ mm · rev/min . وفعالية الاحكام العالية يتم

التوصل اليها عن طريق الاحكام المختلط، مثلا ، الاحكام بالمضائق المتعرجة وبالطرد المركزى (فى احوال السرعات العالية) ، والاحكام بالمضائق المتعرجة وباللباد (عند السرعات المنخفضة).

وكمية الزيت المتسربة فى وحدة الزمن من خلال شق حلقى املس، يمكن تعيينها من المعادلة

$$v \approx 2600 \frac{\delta^3 d_0}{\mu l} (p_1 - p_2) \text{cm}^3/\text{sec.}$$

وقيم d_0 ، δ ، l (بالسم) يوضحها الشكل ٢٦-١٥، د ؛ μ- المعامل الديناميكى للزوجة الزيت بالكجم· ثانية/متر٢ ؛ p_1 ، p_2 الضغط فى بداية ونهاية الخلوص بالكجم/سم٢ . ومن هذه المعادلة نستنتج ان فعالية عمل وسيلة الاحكام بالشقوق يعتمد بدرجة كبرى على مقدار الخلوص القطرى δ وبدرجة اقل على طوله l . وفى العادة تؤخذ $\delta = 0.1 \div 0.3$ mm .

حساب (اختيار) كراسى المحاور

اختيار كراسى المحاور المحملة استاتيكيا. اذا كانت كراسى محاور التدحرج معرضة لاحمال كبيرة بدون ان تتحرك، او عندما تدور بسرعة n اقل من لفة واحدة فى الدقيقة (مثلا فى بكرات الخطاف فى ماكينة رفع الاثقال، وفى ريش مراوح الطائرات ذات الخطوة المتغيرة . . . الخ) فان معادلة حساب عمر الخدمة (26.20) لا تصلح للحساب حيث انه من العلاقة (26.19)، عندما تكون $N = 0$ نجد ان $Q \to \infty$.

والحمل الحدى لمثل هذه الكراسى المحملة استاتيكيا لا يحدد بواسطة عمر خدمة اجزاء الكرسى ، بل بواسطة مقدار التشوهات المتخلفة فى الاسطح المتماسة.

ومع اجهادات الضغط المسموح بها فى كراسى محاور التدحرج ، تكون التشوهات المتخلفة صغيرة بدرجة انها لا تؤثر على اسطح ممرات الدوران فى الحلقات . ومن المعادلتين (26.11) ، (26.14) نحصل لحساب الحمل الاستاتيكى المسموح به فى كرسى المحور القطرى ذى الكريات :

$$R_{st} = \frac{\sigma_{max}^3}{5\lambda_b^3} z d_b^2 = \varepsilon'_b z d_b^2. \qquad (26.21)$$

وبالنسبة لكراسى محاور الكريات - سواء القطرية ام الدفعية، فان المعادلة (26.21) مشابهة من حيث التركيب، ويمكن كتابتها

بالشـــكل التالـــــى :

$$Q_{st} = \varepsilon_b z d_b^2 \text{ kg,} \tag{26.22}$$

حيث z ـ عدد الكريات فى الصف الواحد ؛
d_b ـ قطر الكرية بالسم .
وقيم ε_b لكراسى المحاور من مختلف انواعها عندما تكـــــــــون $\sigma_{max} = [\sigma]_{sur} = 50000 \text{ kgf/cm}^3$ ، واردة فى الجدول ٢٦ - ٦ .

الجدول ٢٦ - ٦

قيم المعاملين ε_b ، ε_r

نوع الكرسى	ε_b	نوع الكرسى	ε_r
كرسى محاور الكريات		كرسى محاور الاسطوانات	
قطرية بصف واحد	85	قطرية باسطوانات قصيرة. .	160
قطرية كروية بصفين . . .	72	قطرية كروية بصفين	300
قطرية دفعية بصف		قطرية دفعية بصف واحد	
واحد	$85 \cos \beta$	(مخروطية)	$160 \cos \beta$
دفعية	330	دفعية باسطوانات.	600

ملحوظة : فى كراسى محاور الكريات β ـ الزاوية بين خط الضغط والمستوى المنصف لكرسى المحور (الرسم جـ ، الجدول ٢٦ - ١) . وفـــى كراسى محاور الاسطوانات β ـ زاوية المخروط (الشكل د ، الجـــدول ٢٦ - ٢) .

وبحل المعادلتين (26–12) ، (26–16) معا نحصل على ان الحمل الاستاتيكى المسموح به فى كرسى محور الاسطوانات القطرية

$$R_{st} = \frac{\sigma_{max}^2}{4.6\lambda_r^3} z l_r d_r = \varepsilon_r z l_r d_r \tag{26.23}$$

وبالنسبة لكراسى محاور الاسطوانات ـ القطرية والدفعية، تأخـــــذ المعادلة (26.23) الشكل التالى :

$$Q_{st} = \varepsilon_r z l_r d_r \tag{26.24}$$

حيث z ـ عدد الاسطوانات فى صف واحد ؛
l_r ، d_r ـ طول وقطر الاسطوانة بالسم على التوالى .

وقيم ε_r بالنسبة لكراسى محاور الاسطوانات من الانواع المختلفة عندما تكون $\sigma_{max} = [\sigma]_{sur} = 35000$ kgf/cm^2 ، واردة فى الجدول (٢٦-٦) .
وتحوى الكتالوجات على قيم الحمل الاستاتيكى المسموح به لكل كرسى محور قياسى من كراسى التدحرج .
اختيار كراسي المحاور حسب عمر خدمتها . ان كرسى المحور الذى يدور بسرعة $n > 1$ rpm ، يختار حسب معامل المقدرة على العمل .
وفى غالبية الحالات تدور الحلقة الداخلية لكرسى المحور . اما اذا كانت الحلقة الخارجية هى التى تدور ، فمع ثبات باقى الظروف يجب تخفيض الحمل على كرسى المحور ، حيث انه يزيد مع ذلك تردد الحمل على الحلقة الداخلية . ولهذا السبب فانه اذا دارت الحلقة الخارجية فى كرسى المحور يدخل على الطرف الايسر من المعادلة (26.25) ، (امام R) ، المعامل $K_{race} > 1$.
وحيث ان عمر الخدمة لكرسى المحور المعرض للدفعات والصدمات اثناء عمله ، يقل بذلك ، يدخل على معادلة حساب معامل قدرة العمل C ، معامل يعتمد ايضا على طابع الحمل $K_{load} > 1$. وتأثير درجة حرارة التشغيل فى كرسى المحور على عمر خدمته يؤخذ فى الاعتبار بمعامل تصحيح $K_t > 1$.
والحملان القطرى R والمحورى A يمكن استبدالهما بحمل قطرى مكافىء Q_{eq} ، يؤثر على عمر الخدمة فى كرسى المحور موضع الحساب بتاثير مطابق لتأثير الحملين الفعليين R, A . وفى الحالة العامة :

$$Q_{comb} = K_{race}R + mA, \tag{26.25}$$

حيث m ـ معامل تحويل الحمل المحورى الى حمل قطرى ، يأخذ فى اعتباره التأثير المختلف لهذين الحملين على عمر خدمة الكرسى .
وبناء على هذا فان المعادلة الخاصة باختيار كراسى المحاور القطرية تأخذ الشكل الاتى :

$$(K_{race}R + mA)K_{load}K_t(nh)^{0.3} = C, \tag{26.26}$$

حيث R ـ الحمل القطرى الفعلى بالكجم ؛
A ـ الحمل المحورى الفعلى بالكجم ؛
m = ٥ر٠ الى ٥ر٤ ، وهو معامل تحويل الحمل . ويعتمد على نوع ابعاد كرسى المحور ؛
K_{race} ـ معامل يدخل فى حالة تدوير الحلقة الخارجية من كرسى المحور ، ويؤخذ مساويا ١ر١ للكراسى الكروية ذات الكريات ، و ٣٥ر١ لغيرها من الكراسى ؛

K_{load} ـ معامل يعتمد على طابع الحمل ؛

K_t ـ معامل درجة الحرارة :

$t^\circ C$	١٢٥	١٥٠	١٧٥	٢٠٠	٢٢٥	٢٥٠
K_t	١ر٠٥	١ر١٠	١ر١٥	١ر٢٥	١ر٣٥	١ر٤٠

n ـ عدد لفات كرسى المحور فى الدقيقة ؛

h ـ عمر الخدمة المرغوب بالساعات.

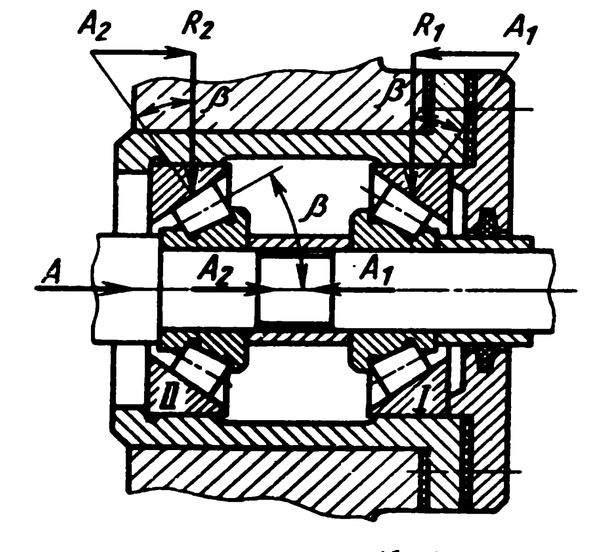
وبالنسبة لكراسى المحاور الدفعية، التى تتلقى فقط احمالا محورية، تحتل الحلقان موضعا واحدا بالنسبة للكريات، ونتيجة لذلك فى المعادلة (26.25) تكون $Q_{comb} = A$ ، والمعادلة الحسابية العامة تأخذ الشكل

$$AK_{load}K_t(nh)^{0.3} = C \tag{26.27}$$

وبالنسبة لكراسى المحاور الابرية، التى تتلقى فقط احمالا قطرية

$$RK_{race}K_{load}K_t(nh)^{0.3} = C \tag{26.28}$$

وعند اختيار كراسى المحاور القطرية الدفعية، فانه علاوة على الاحمال الخارجية يجب كذلك اعتبار القوى المحورية الناتجة عن تأثير الاحمال القطرية.



الشكل ٢٦ - ١٦

وفى هذه الحالة تأخذ المعادلة (26.26) الشكل التالى

$$(K_{race}R + m\Sigma \cdot A)\ K_{load}K_t(nh)^{0.3} = C \tag{26.29}$$

وعند تعيين المجموع الجبرى لكل القوى المحورية، تعطى اشارة الموجب للقوى التى تقلل الخلوص الداخلى فى كرسى المحور، واذا كان $\Sigma A < 0$ ، يجرى الحساب فقط بالنسبة للحمل القطرى.

وبالنسبة للوحدة الدفعية ذات كراسى المحاور المخروطية I ، II (الشكل ٢٦ - ١٦) عندما تكون $R_1 > R_2$ و $A > (A_1 - A_2)$ نحصل على

$$Q_{1\ comb} = K_{race}R_1 + m[A + (A_2 - A_1)];\ Q_{2\ comb} = K_{race}R_2,$$

حيث

$$A_2 = 1.3\ R_2 \tan\beta \quad A_1 \approx 1.3\ R_1 \tan\beta$$

ومعامل مقدرة العمل C لكرسى المحور لا يمكن ان يتحدد بطريقة نظرية. وقيمته التى تتحدد تجريبيا بالنسبة لكراسى المحاور القياسية تدخل ضمن المواصفات القياسية.

واذا كان كرسى المحور يعمل بحمل متغير، وبسرعة زاوية متغيرة، فانه يختار حسب الحمل المكافىء Q_{eq} وبعدد اللفات المكافىء n_{eq}.

ولنفرض ان كرسى محور يعمل عدد الساعات الكلى h حتى تغييره تحت حمل Q_i وبعدد لفات n_i، وفترة عمل كرسى المحور تحت الحمل Q_i، وعدد اللفات n_i يشكل جزءا α_i من عمر الخدمة الكلى لكرسى المحور، حيث $\alpha_i = \frac{h_i}{h}$، h_i - عدد ساعات العمل بنظام الحمل Q_i، واللفات n_i، ومن المعادلتين (26.26)، (26.27)، يتضح ان عمر خدمة كرسى المحور مع تساوى باقى الظروف، يتناسب عكسيا مع حاصل الضرب $Q_i^{10/3} n_i$. لذا فان الحمل المكافىء لكرسى محور التدحرج من اى نوع

$$Q_{eq} = \left(\sum_{i=1}^{k} \alpha_i \beta_i Q^{3.33}\right)^{0.3},$$

حيث

$$\alpha_i = \frac{h_i}{h}$$

$$\beta_i = \frac{n_i}{n_{eq}}$$

وهنا n_{eq} - عدد اللفات الافتراضى ويختار حسب النظام السائد.

الباب السابع والعشرون

الأجزاء الهيكلية

ان فرشات المكنات، واللوحات والصناديق التى تسمى اختصارا، بالاجزاء الهيكلية، تشكل كالقاعدة جزءا كبيرا من الوزن العام للماكينات (مثلا فى ماكينات التشغيل، حتى ٧٠ - ٩٠ ٪). لذا فان وزن الماكينة يعتمد بالدرجة الكبرى على ما اذا كان المصمم قد وفق فى اختيار مادة وشكل وأبعاد الاجزاء الهيكلية للماكينة أم لا .

وبسبب التنوع الشديد فى الاجزاء الهيكلية، نستعرض هنا فقط - المسائل العامة فى تصميمها، وتعرض بتفصيل اكبر فى المناهج الخاصة، مثل "ماكينات تشغيل المعادن"، و" ماكينات الحدادة والكبس"، و" التوربينات البخارية والغازية" ... الخ .

التقسيم . يحتوى الجدول ٢٧ - ١ على تقسيم عام للاجزاء الهيكلية قام بوضعه العالم السوفييتى ريشيتوف .

والاجزاء الهيكلية يمكن تقسيمها ضمنيا حسب صفاتها المختلفة الى المجموعات التالية :

حسب الغرض منها :

١ - الفرشات والهياكل الحاملة للاجسام ؛
٢ - القواعد والواح الاساس ؛
٣ - وحدات الاجزاء الهيكلية بما فيها : أ - الاجسام والصناديق ؛ ب - الاعمدة والقواعد والكابولى وغيرها من الاجزاء الثابتة الساندة ؛ جـ - المناضد والحوامل، والمنزلقات، وغيرها من الاجزاء الساندة المتحركة ؛ د - الاغلفة والاغطية.

حسب الشكل :

١ - أجزاء ببعد حجمى واحد اكبر كثيرا من البعدين الآخرين (فرش ماكينات التشغيل، العارضات والمنزلقات) ؛
٢ - أجزاء لها بعد حجمى أصغر كثيرا من البعدين الآخرين (لوحات الاساس ، والمناضد) ؛
٣ - أجزاء أبعادها الحجمية متقاربة (الصناديق وغيرها) .

حسب قابليتها للفك :

١ - من قطعة واحدة ؛ ٢ - قابلة للفك .

حسب ظروف العمل :

١ - غير متحركة (ثابتة) ، ٢ - متحركة .

حسب طريقة التصنيع :

١ - مسبوكة ؛ ٢ - ملحومة ؛ ٣ - مختلطة .

وتعمل مادة غالبية أجزاء الاجسام فى ظروف الحالات الاجهادية المركبة، اما التشوهات فلها بناء على ذلك طابع معقد ، فمثلا ، عندما تكون متكونة من تشوهات الانحناء، واللى ، والشد فى آن واحد .

ومن معادلات مقاومة المواد الخاصة بالاجهادات والتشوهات نستنتج أنه فى حالة الشد والضغط تعتمد متانة وجساءة عنصر التصميم عندما تثبت باقى الظروف، فقط على مساحة مقطع العنصر، ولكن ليس على شكل الاخير. وبناء على ذلك ففى هذه الحالات يتحدد ما يستهلك من المادة بواسطة الظروف المؤثرة - فمن جانب ، الاجهادات المسموح بها ، ومن الجانب الآخر التشوهات. أما فى حالة الانحناء واللى فيمكن تقليل المنصرف من المادة باختيار الشكل المناسب لمقطع العنصر على حساب زيادة عزوم المقاومة، وعزوم القصور الذاتى مع تثبيت مساحة المقطع، أى مع تثبيت وزن عنصر التصميم.

اختيار الاشكال المثلى . ان اكثر الاشكال نفعا هى الاشكال ذات المقطع ذو شكل المستطيل الاجوف (الجدول ٢٧ - ٢). فهذا المقطع يختلف بدرجة قليلة بالنسبة لمتانة الانحناء عن المقطع المكون من حرف I ، وفى اللى ، عن المقطع الحلقى. وحيث أن هذا الشكل له مزايا تصميمية، مثل امكانية يسر توافقه مع الاجزاء الاخرى ، ففى غالبية الاحوال يقع هذا المقطع فى أساس تصاميم الاجزاء الهيكلية.

والمتانة، والجساءة بنوع خاص بالنسبة للأجزاء الهيكلية المجوفة يمكن زيادتهما بمساعدة الاضلاع والحواجز. ويصبح هذا ضروريا للغاية عندما لا يمكن أن يكون الجسم مغلقا نتيجة لظروف العمل ، ولكن يجب أن يكون مفتوحا من جهة أو اثنين. ويمكن أن يكون فرش المخارط مثالا على ذلك. فلكى يتوفر السقوط الحر للرايش وكذلك جمعه ، يتكون فرش غالبية المخارط من حائطين يتصلان فيما بينهما باضلاع وحواجز.

وفى الحالات الاخرى، يعتبر وجود نوافذ (فتحات) فى جدران الاجسام، مفروضا من ضرورة تركيب مختلف الاليات والمجموعات داخل الاجزاء الهيكلية.

وفعالية استخدام الحواجز والاضلاع تعتمد بدرجة كبرى على كيفية توزيعها. ففى بعض الاحيان تزداد الجساءة زيادة طفيفة دون أن تبرر ما يستهلك من المعدن ولا زيادة صعوبة تصنيع الجزء . وترد فى الجدول ٢٧ - ٣، جساءة الانحناء S_{bend} ، وجساءة اللى S_{tor} ، والوزن G والجساءة النوعية $\frac{S_{bend}}{G}$ ، $\frac{S_{tor}}{G}$

الجدول ٢٧ - ١

الاجزاء الهيكلية

النوع	الأشكال	النوع	الأشكال
فرشات بسيطة للماكينات		منظومات الحمل فى المرفاعات (الجمالونات)	
فرشات بسيطة للماكينات الرأسية		القواعد	
فرشات على شكل بوابات (portal)		الصناديق	
فرشات حلقية ، وأجسام حلقية		القواعد ، الكابولى ، المساند	
فرشات الماكينات الكباسية ووحدات الاسطوانات (السلندرات)		المناضد والمنزلقات والراسمات	
		العوارض، المنزلقات، الصوانى	
اطارات ماكينات النقل		الاغطية ، والاغلفة	

الجدول ٢٧ - ٢

اكبر عزوم انحناء ولي" للمقاطع العرضية من مختلف الاشكال

المقطع		الوزن	اكبر عزم انحناء مسموح به			اكبر عزم لي" مسموح به			
			حسب الاجهاد		بالانحناء،	حسب الاجهاد		حسب زاوية اللي النسبية	
الشكل	المساحة بالسم٢	بالكجم/متر	بالكجم·سم	القيمة النسبية	القيمة النسبية	بالكجم·سم	القيمة النسبية	بالكجم·سم	القيمة النسبية
100، 29	٢٩ر٠	٢٢	٤٨ر٣ $[\sigma]_b$	١ر٠	١ر٠	٢ر٧ $[\tau]_T$	١ر٠	٦٦ vG	١ر٠
Φ100، 10	٢٨ر٣	٢٢	٥٨ر٢ $[\sigma]_b$	١ر٢	١ر١٥	١١٦ $[\tau]_T$	٤٣	٥٨٠ vG	٨ر٨
10، 10، 100، 75	٢٩ر٥	٢٢	٦٦ر٣ $[\sigma]_b$	١ر٤	١ر٦	١٠٤ $[\tau]_T$	٣٨ر٥	٢٠٧٠ vG	٣١ر٤
100، 10، 10، 100	٢٩ر٥	٢٢	٩٠ $[\sigma]_b$	١ر٨	١ر٨٠	١٢ $[\tau]_T$	٤ر٥	١٢٦ vG	١ر٩

كقيم خاصة ببعض النماذج ، مقارنة (مع الصندوق المماثل في أبعاده ولكن بدون حواجز) .

الجدول ٢٧ - ٣

مواصفات جساءة الانحناء واللي للنماذج المختلفة الاشكال

النموذج		الجساءة النسبية للانحناء S_{bend}	الجساءة النسبية للي S_{tor}	الوزن النسبي للنموذج G	$\frac{S_{bend}}{G}$	$\frac{S_{tor}}{G}$
(١) الاساسي		١ر٠٠	١ر٠٠	١ر٠٠	١ر٠٠	١ر٠٠
٢ ـ أ		١ر١٠	١ر٦٣	١ر١٠	١ر٠٠	١ر٤٨
٢		١ر٠٩	١ر٣٩	١ر٠٥	١ر٠٤	١ر٣٢
٣		١ر٠٨	٢ر٠٤	١ر١٤	٠ر٩٥	١ر٧٩
٤		١ر١٧	٢ر١٦*	١ر٣٨	٠ر٨٥	١ر٥٦
٥		١ر٧٨	٣ر٦٩	١ر٤٩	١ر٢٠	٣ر٠٧
٦		١ر٥٥	٢ر٩٤	١ر٢٦	١ر٢٣	٢ر٣٩

والحواجز غير تلك المأخوذة في النموذجين ٥ ، ٦ تؤثر قليلا على جساءة الانحناء . وبالنسبة للنموذجين ٣ ، ٤ فان الزيادة النسبية S_{bend} تكون أقل من الزيادة النسبية للوزن (أي أن $\frac{S_{bend}}{G} < 1$) . ويظهر تساؤل ، الا يكون من الاوفق زيادة سمك الجدران ؟ وبناء على معطيات الجدول ٢٧ - ٤ فان جساءة الانحناء لكل النماذج فيما عدا النموذجين ٥ ، ٦ تزداد ، أما جساءة اللي فتقل . لذا ففي الاجزاء في حالات الانحناء واللي ، يكون تزويدها بالحواجز أصلح من زيادة سمك جدرانها .

اختيار سمك الجدران : اذا أعطيت الابعاد الكلية للاجزاء الهيكلية يتحدد وزنها بالدرجة الاساسية من سمك جدرانها .

ولزيادة المتانة والجساءة في حالتي الانحناء واللي مع الاحتفاظ بوزن الاجزاء المجوفة باصغر ما يمكن ، يجب اختيار أقل سمك ممكن لجدرانها . ويتم التوصل الى استقرار الجدران الرفيعة على حساب تقويتها بالاضلاع.

وفى الاجزاء المسبوكة يتحدد السمك الادنى للجدران بالدرجة الاساسية بمتطلبات تكنولوجيا التشغيل الميكانيكى والسباكة. والجدول ٢٧ - ٥ يبين الاسماك الادنى بجدران المسبوكات التى تضمن القابلية الجيدة لامتلاء القالب (عدم حدوث التقصير) . والسمك الامثل للاضلاع والحوائط الداخلية يشكل ٦ر٠ - ٨ر٠ من سمك الجدران الخارجية .

الجدول ٢٧ - ٤

تغير الجساءة النسبية فى حالتى الانحناء واللى للنموذج ذات الاشكال المختلفة

النموذج	الوزن النسبى للمقطع الاجوف	الجساءة النسبية للانحناء فى حالة		الجساءة النسبية للى فى حالة	
		استخدام الاضلاع	زيادة سمك الجدران	استخدام الاضلاع	زيادة سمك الجدران
(١) الاساسى	١ر٠٠	١ر٠٠	١ر٠٠	١ر٠٠	١ر٠٠
٢ - أ	١ر١٠	١ر١٠	١ر١٥	١ر٦٣	١ر١٨
٢	١ر٠٥	١ر٠٩	١ر١٠	١ر٣٩	١ر١٠
٣	١ر١٤	١ر٠٨	١ر١٦	٢ر٠٤	١ر٢١
٤	١ر٣٨	١ر١٧	١ر٢٩	٢ر١٦	١ر٤٠
٥	١ر٤٩	١ر٧٨	١ر٣٠	٣ر٦٩	١ر٤٦
٦	١ر٢٦	١ر٥٥	١ر١٩	٢ر٩٤	١ر٢٤

والسمك المحور للجدران - النسبة بين مساحة المقطع الى طول محيطه - يجب أن يكون بقدر الامكان واحدا فى كل اقسام الجزء المسبوك . والنسبة بين الاسماك المحولة فى الاماكن المختلفة من الجزء المسبوك الواحد يجب الا تزيد عن ٢ - ٥ر٢ ، والا فان الانكماشات الحادثة وما ينتج عنها من اجهادات قد تزيد من حد متانة المعدن .

وأسماك الجدران يجب أن تكون كافية لمقاومة الصدمات فى عمليات الإختيار والتنظيف وقطع المصبات والنقل وكذلك ما يتبع ذلك من عملية التشغيل الميكانيكى للجزء .

والاسماك المبينة أعلاه للجدران تزداد انطلاقا من عدم الدقة المحتمل فى تصنيع تجميع القضبان والاشكال .

وسعيا لارضاء المتطلبات المذكورة ، يختار عمليا سمك الجدران كبيرا بحيث يزيد كثيرا عما تتطلبه متطلبات المتانة والجساءة من

الاجزاء فى ظروف العمل فى الماكينة. فمثلا ، يجرى صنع فرش ماكينات التشغيل الخفيفة بسمك للجدران يتراوح بين ١٢ و ١٥ مم، وللماكينات المتوسطة ١٨ - ٢٢ مم، وللثقيلة ٢٣ - ٣٥ مم.

واعتبارا للاهمية الاقتصادية البالغة لمسائل الاقتصاد فى المعادن ، يولى اهتمام كبير أثناء التصميم لاختيار سمك جدران الاجزاء الهيكلية الاساسية والاكثر استيعابا للمعادن. ويجب اختيار اسماك الجدران غير كبيرة قدر الامكان ، انطلاقا من القيم الواردة فى الجدول ٢٧-٥ ، ومن الامكانيات الفعلية لصناعة المسبوكات. ومع زيادة درجة اتقان الصناعة فى نفس ورشة السباكة ، ومع تحسين تكنولوجيا السباكة ، يجب اعادة النظر فى سمك الجدران دوريا - وذلك بتقليلها ، مع الاقتراب من الاسماك التى تتطلبها شروط متانة الاجزاء وجساءتها.

الاجزاء الهيكلية المسبوكة والملحومة. فى أغلب الاحيان تصنع الاجزاء الهيكلية بحيث تكون مسبوكة من الحديد الزهر.

ولاعداد الجزء المسبوك يجب مسبقا صنع النموذج ، وصناديق الدليك ومعدات السباكة. ويرتبط هذا بمصروفات اضافية وبتطويل شديد فى فترة انتاج الماكينة.

وفى السنوات الاخيرة أخذت الاجسام الملحومة من الصلب تحل محل الاجسام المصنوعة من الحديد الزهر والمسبوكة من الصلب.

ولا يلزم اعداد نموذج لصنع الجسم بواسطة اللحام.

ومع ثبات الحمل ، والابعاد بين العناصر المصنوعة من الصلب والاخرى المصنوعة من الحديد الزهر، تكون النسبة بين معامل الامان للحديد الزهر الى معامل الامان للصلب مساوية للنسبة بين حدى متانتهما : فى حالات الشد والضغط والانحناء $\frac{n'_{ci}}{n'_{st}} = \frac{\sigma_{uci}}{\sigma_{us}}$ ، وفى حالة اللى $\frac{n'_{ci}}{n'_{st}} = \frac{\tau_{us}}{\tau_{us}}$. وللعنصر المصنوع من الحديد الزهر СЧ 21-40 $\sigma_{ut} = 21$ kgf/mm^2 $\sigma_{u\ com} = 75$ kgf/mm^2 $\sigma_{u\ bend} = 40$ kgf/mm^2 ، $\tau_{u\ tor} = 15 \div 25$ kgf/mm^2 أما بالنسبة للعضو المصنوع من الصلب CT-5 ($\sigma_{ut} \approx \sigma_{u\ com} \approx \sigma_{u\ bend} \approx 50$ kgf/mm^2 و $\tau_{u\ tor} = 40$ kgf/mm^2)، ونحصل من هذا على قيم هذه النسب على التوالى $\left\{\frac{n'_{ci}}{n'_{st}} = 0.4;\ 1.5;\ 0.8 \text{ and } 0.4\text{–}0.6\right\}$ ، وحيث أن المواصفات الميكانيكية للصلب أعلى من الحديد الزهر العادى، فانه مع تساوى الاحمال ، ومعاملات الامان ، والجساءة، يكون وزن الجزء المصنوع من الصلب الملحوم أصغر من الجزء المصنوع من الحديد الزهر . وهذا واضح من الجدول ٢٧ - ٦ ، الموضوع للعناصر المصنوعة من الصلب ومن الحديد الزهر الاختيارية ولكن بطول واحد . والارقام المبينة فى السطر الاخيرة من الجدول ٢٧ - ٦ ، توضح أنه مع تساوى الجساءة يكون وزن العنصر المصنوع من الصلب مساويا $\frac{١}{٢}$ - $\frac{٣}{٤}$ وزن العنصر المصنوع من الحديد الزهر.

وفقط فى حالة العمل تحت تأثير الضغط، تكون المقارنة بالوزن ، فى صالح الحديد الزهر، اذا لم يستخدم فى صنع هذا العنصر

الجدول ٢٧ - ٥

أصغر سمك مسموح به لجدران المسبوكات

المعدن	أقل سمك لجدران المسبوكات بالمم	ملاحظات
صلب كربونى	الصغيرة* ٦ المتوسطة* ١٠-١٢ الضخمة* ١٥-٢٠	عند الصب من فرن كهربى حامض، سمك جدران المسبوكات حتى ٤ مم ؛ وفى حالات قليلة يكون السمك حتى ٣مم وأقل (السباكة الدقيقة) ؛ سمك الجدران ٦ مم والطول حتى ١٠٠٠مم
الحديد الزهر الرمادى	الصغيرة ٣-٤ المتوسطة ٦-٨-١٠ الضخمة ١٥-٢٠ وأكبر	الاجزاء المصنوعة من الحديد الزهر بالجرافيت (الحبيبى) فى صورة كريات تصب بمثل سمك الجدران كما فى حالة الصلب الرمادى
الحديد الزهر المحسن	أسمك ب ١٥-٢٠٪ من مسبوكات الحديد الزهر	
الحديد الزهر المطروق	٣ - ٦	تؤخذ القيم الاقل للاجزاء المصنوعة من الحديد الزهر المستحصل عليها من الافران الكهربية
البرونز القصديرى	الصغيرة ٣-٥ المتوسطة ٦-٨	الاطوال حتى ١٥٠ مم
سبائك الالومنيوم	الصغيرة ٣-٥ المتوسطة ٥-٨	الاطوال حتى ٢٠٠ مم، للاجزاء المصبوبة تحت الضغط سمك حتى ١,٥ مم، وللمسبوكات من سبائك الالومنيوم ـ النحاس، ما لا يقل عن ٥ مم
سبائك المغنيسيوم	المتوسطة ٤ الكبيرة ٦	للاجزاء المسبوكة تحت الضغط يسمح بسمك حتى ٢ مم
النحاس الاصفر الخاص	ما لا يقل عن ٥ - ٦	للنحاس الاصفر الالومينى والسليكونى، ما لا يقل عن ٦ مم
سباك الزنك	حتى ٣	للاجزاء المصبوبة تحت الضغط، يسمح بالتقليل حتى ١,٥ مم

تابع الجدول ٢٧ - ٥

المعدن	أقل سمك لجدران المسبوكات بالمم	ملاحظات
سبائك الصلب		تبعا لصنف الصلب، ولكن فى كل الحالات اكبر من المسبوكات المماثلة من الصلب الكربونى بنسبة ٢٠ - ٤٠ ٪
الصلب المقاوم للحرارة		مثل المسبوكات المصنوعة من الحديد الزهر الرمادى

* ان تقسيم المسبوكات الى ثلاث مجموعات سواء بالوزن أو حسب البعد الاكبر فيها تقسيم افتراضى : الصغيرة - اكبر بعد فى الجزء حتى ٥٠٠ مم ، المتوسطة حتى ١٥٠٠ مم، الكبير أعلى من ١٥٠٠مم

صلب تم تعريضه للمعاملة الحرارية ومن نوع أجود من الصلب Cт. 3 أوCт. 5.
وفى الحقيقة فان مقدار ما يمكن توفيره فى استهلاك المعدن عند استبدال الاجزاء المصنوعة من الحديد الزهر، بأخرى من الصلب يعتمد كثيرا على الصياغة التصميمية لكلا الحلين.
ويمكن بسهولة تعديل الجزء المصنوع من الصلب عند الضرورة - بتقويته تقوية اضافية، وبزيادة جساءته، وبتغيير شكله وابعاده. وفى الجزء المسبوك يكون اصعب كثيرا تنفيذ هذه التعديلات. وتعتبر امكانية التعديل والتغيير ميزة ثمينة للاجزاء الملحومة فى حالات اعداد العينات التجريبية للماكينات.
وبمقارنة الميزات مع العيوب فى الحالتين، يمكن التخطيط لمجال استخدامهما الرشيد على الوجه التالى :
ان الاجزاء الهيكلية المحملة بأحمال شديدة فى الماكينات الخاصة التى يجرى انتاجها بالمفرد يجب صناعتها بطريقة اللحام، اما الاجزاء التى تتحمل حملا معتدلا ، والمعرضة للانتاج بكميات كبيرة، فيجب صناعتها بالسباكة. فعند الانتاج بكميات كبيرة، تتوزع تكلفة اعداد نماذج السباكة على عدد كبير بحيث يصبح ما يتحمله الجزء الواحد من تكلفتها صغيرا. وفى حالة الاحمال غير الكبيرة، لا يجرى استغلال المواصفات الميكانيكية العالية للصلب تماما.
وفى الحالات الخاصة الهامة، يحدد اختيار هذا النوع من التصاميم أو ذاك بالحساب التكنواقتصادى. وعند ذلك تؤخذ

الجدول ٢٧ - ٦

المواصفة المقارنة بين وزن العناصر المتساوية في الطول والمصنوعة من الصلب والحديد الزهر

الشد	الانحناء		اللى	
شكل المقطع العرضي للعنصر				
اختيارى $\frac{F_1}{F_2}=\frac{V_1}{V_2}$	بشكل خارجي واحد وسمك مختلف للجدار δ $\frac{F_1}{F_2}=\frac{J_1}{J_2}=\frac{W_1}{W_2}=\frac{V_1}{V_2}=\frac{\delta_1}{\delta_2}$	مقاطع متشابهة هندسيا، أبعادها متناسبة، معامل التناسب (m) $\frac{F_1}{F_2}=\frac{V_1}{V_2}=m^2;$ $\frac{W_1}{W_2}=m^3,\ \frac{J_1}{J_2}=m^4$	بشكل خارجي واحد، وسمك مختلف للجدار δ $\frac{F_1}{F_2}=\frac{J_{pr\,1}}{J_{pr\,2}}=\frac{W_{pr\,1}}{W_{pr\,2}}=\frac{V_1}{V_2}=\frac{\delta_1}{\delta_2}$	مقاطع متشابهة هندسيا، ابعادها متناسبة، ومعامل التناسب (m) $\frac{F_1}{F_2}=\frac{V_1}{V_2}=m^2;$ $\frac{W_{pr\,1}}{W_{pr\,2}}=m^3,\ \frac{J_{pr\,1}}{J_{pr\,2}}=m^4$
عندما يتساوى معامل الامان n'				
$\frac{F_1}{F_2}=\frac{\sigma_{ut\,2}}{\sigma_{ut\,1}}=0.4$	$\frac{W_1}{W_2}=\frac{\sigma_{u\ bend\ 2}}{\sigma_{u\ bend\ 1}}=0.8$		$\frac{W_{pr\,1}}{W_{pr\,2}}=\frac{\tau_{u\ tor\ 2}}{\tau_{u\ tor\ 1}}=0.4\div0.6$	
$\frac{V_1}{V_2}=\frac{F_1}{F_2}=0.4$	$\frac{W_1}{W_2}=\frac{\sigma_{u\ bend\ 2}}{\sigma_{u\ bend\ 1}}=0.8$	$\left(\frac{W_1}{W_2}\right)^{2/3}=0.8^{2/3}=0.86$	$\frac{W_{pr\,1}}{W_{pr\,2}}=0.4\div0.6$	$\left(\frac{W_{pr\,1}}{W_{pr\,2}}\right)^{2/3}=0.4^{2/3}\div0.6^{2/3}=$ $=0.55\div0.71$
$\frac{Q_4}{Q_2}=1.07;\ \frac{V_1}{V_2}=0.43$	$1.07\times0.8=0.86$	$1.07\times0.86=0.92$	$1.07(0.4\div0.6)=0.43\div0.64$	$1.07(0.55\div0.71)=0.59\div0.76$

$\frac{F_1}{F_2} = \frac{V_1}{V_2} = m^2;$ $\frac{W_{pr\,1}}{W_{pr\,2}} = m^3; \frac{J_{pr\,1}}{J_{pr\,2}} = m^4$	$\frac{F_1}{F_2} = \frac{J_{pr\,1}}{J_{pr\,2}} = \frac{W_{pr\,1}}{W_{pr\,2}} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{\delta_1}{\delta_2}$	$\frac{F_1}{F_2} = \frac{V_1}{V_2} = m^2,$ $\frac{W_1}{W_2} = m^3; \frac{J_1}{J_2} = m^4$	$\frac{F_1}{F_2} = \frac{J_1}{J_2} = \frac{W_1}{W_2} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{\delta_1}{\delta_2}$	$\frac{F_1}{F_2} = \frac{V_1}{V_2}$
$\frac{\text{الحمل}}{\text{التشوه}} = c$		عند تساوى الجساءة		
$\theta = \frac{M_t l}{GJ_{pr}}$; $c = \frac{Mt}{\theta} = \frac{GJ_{pr}}{l}$; $\frac{J_{pr\,1}}{J_{pr\,2}} = \frac{G_2}{G_1} = 0.48$		$\frac{J_1}{J_2} = \frac{E_2}{E_1} = 0.48$; $f = R\frac{Pl^3}{EJ}$; $c = \frac{P}{f} = \frac{EJ}{Rl^3}$		$\lambda = \frac{PL}{EF}$; $c = \frac{P}{\lambda} = \frac{EF}{l}$ $\frac{F_1}{F_2} = \frac{E_2}{E_1} = 0.48$
$\left(\frac{J_{pr\,1}}{J_{pr\,2}}\right)^{1/2} = (0.48)^{1/2} = 0.69$	$\frac{J_{pr\,1}}{J_{pr\,2}} = \frac{G_2}{G_1} = 0.48$	$\left(\frac{J_1}{J_2}\right)^{1/2} = (0.48)^{1/2} = 0.69$	$\frac{J_1}{J_2} = \frac{E_2}{E_1} = 0.48$	$\frac{V_1}{V_2} = \frac{F_1}{F_2} = 0.48$
$1.07 \times 0.69 = 0.74$	$1.07 \times 0.48 = 0.51$	$1.07 \times 0.69 = 0.74$	$1.07 \times 0.48 = 0.51$	$\frac{Q_1}{Q_2} = 1.07; \frac{V_1}{V_2} = 0.51$

فى الاعتبار الفترات المعطية لانتاج الماكينة، والامكانيات الانتاجية للمصنع - المنتج ، وامكانية التعاون فى الانتاج وغير ذلك.

الافكار العامة للحساب. تعتبر جساءة الاجزاء الكبيرة للاجسام هو المعيار الاساسى فى مقدرتها على العمل. ففى ماكينات التشغيل تعتمد الانتاجية، ودقة الاجزاء المشغولة مثلا على جساءتها ، وجساءة أجسام مخفضات السرعات بالتروس تحدد مدى سلامة تعشيق العجلات المسننة، وبالتالى ، مقدرة مخفض السرعات عموما على العمل... الخ.

وفى المعتاد تعتبر الأجزاء الهيكلية فى الماكينة اكثرها تعقيدا. لذا فان أبعاد الاجزاء الهيكلية تعين بحيث لا تخرج عن نطاق الصلاحية للعمل حتى فى حالة اكبر الاحمال الممكنة.

وعند اختبار الاجزاء الهيكلية على المتانة يؤخذ الحمل الاقصى لتشغيل جهاز الوقاية أو الحمل الاقصى الممكن أثناء الاستخدام يؤخذ كحمل حسابى .

ويمكن النظر الى الاجزاء الهيكلية عند حسابها كالآتى :

١ - عوارض المقاطع الصندوقية (مثل الفرش، والقوائم ذات المقاطع المغلقة تماما أو جزئيا) ؛

٢ - الاطارات البوابية واطارات ماكينات النقل ، والمحاريث وغيرها من الماكينات الزراعية ؛

٣ - الالواح (اللوحات، والمناضد المستديرة والمستطيلة فى ماكينات التشغيل ، وفيها يكون تأثير الحمل موزعا على جزء من طولها) ؛

٤ - الصناديق (لاجسام المخضات المسننة، وصناديق السرعات، وقاع المحركات) . وبناء على هذا التقسيم، ترد الاسس العامة للحساب فى مناهج مقاومة المواد ، وميكانيكا البناء، ونظرية المرونة.

وحساب الاجزاء الهيكلية واردة فى المناهج الخاصة وفى المراجع المخصصة لدراسة الماكينات.

المحتويات

الفصل الاول

تصميم اجزاء الماكينات

الفصل الثانى

وصلات اجزاء الماكينات . اليايات

الفصل الثالث

وسائل نقل الحركة

الفصل الرابع

الاعمدة ، المحاور، القوارن والقوابض ، الركائز

الى القراء الاعزاء ،

يسر دار " مير " للطباعة والنشر ان تكتبوا اليها عن رأيكم فى هذا الكتاب، حول مضمونه وترجمته ، اسلوبه وشكل عرضه ، وتكون شاكرة لكم لو ابديتم لها ملاحظاتكم وانطباعاتكم. ويسر الدار كذلك ان تعلموها بما ترغبون الاطلاع عليه من الكتب العلمية والتكنيكية السوفييتية التى تصدرها ، والمختارة من افضل المراجع الجامعية والكتب العلمية المبسطة.

وبامكانكم الحصول على اسمائها من الكاتالوجات التى تنشرها الدار باللغات العربية والانجليزية والفرنسية والاسبانية.

يرجى ارسال الطلبات الى الوكلاء المعتمدين لدى مؤسسة " ميجدونارودنايا كنيغا " السوفييتية، موسكو ٢٠٠ .

عنوان دار " مير " :

الاتحاد السوفييتى - موسكو ١١٠ ، GSP

بيرفى ريجسكى بيريولوك رقم ٢